

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»  
Факультет приладобудування  
Кафедра виробництва приладів**

«На правах рукопису»

УДК 620.179.16

«До захисту допущено»

Декан факультету

\_\_\_\_\_ Г.С. Тимчик

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістра  
зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
на тему: «Вдосконалення методів та засобів автоматизованого контролю  
багатошарових муфтових конструкцій»**

Виконала:

студентка VI курсу, групи ПБ-61м

Сергієнко Катерина Сергіївна \_\_\_\_\_

Керівник:

Старший викладач, кандидат технічних наук

Подольан О.О. \_\_\_\_\_

Консультант зі стартап-проекту:

Доцент, кандидат економічних наук

Бояринова К.О. \_\_\_\_\_

Рецензент:

Професор, доктор технічних наук,

Киричук Ю.В.

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.

студентка \_\_\_\_\_

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Факультет приладобудування**  
**Кафедра виробництва приладів**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою спеціальності (спеціалізація) - 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології («Комп'ютерно-інтегровані технології виробництво приладів»)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету

\_\_\_\_\_ Г.С. Тимчик

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**  
**на магістерську дисертацію студенту**  
**Сергієнко Катерині Сергіївні**

1. Тема дисертації *«Вдосконалення методів та засобів автоматизованого контролю багатошарових муфтових конструкцій»*, науковий керівник дисертації Подолян Олександр Олександрович, старший викладач, кандидат технічних наук, затверджені наказом по університету від «23» березня 2018 р. №1006-с

2. Термін подання студентом дисертації 10 травня 2018

3. Об'єкт дослідження

*Об'єктом дослідження є технологія контролю муфт з наповненням встановлених на магістральних трубопроводах високого тиску.*

4. Предмет дослідження

*Предметом дослідження є методи контролю якості муфт з наповненням встановлених на трубопроводах.*

5. Перелік завдань, які потрібно розробити

Проаналізувати стан методів неруйнівного контролю ремонтних робіт. Розробити методи та засоби автоматизованого контролю багатошарових муфтових конструкцій з внутрішнім заповненням на діючому магістральному трубопроводі. Експериментально дослідити застосування методів та засобів автоматизованого контролю багатошарових муфтових конструкцій з внутрішнім наповненням на діючому магістральному трубопроводі. Практичне застосування методу ультразвукового для контролю багатошарових муфтових конструкцій з внутрішнім наповненням на діючому магістральному трубопроводі. Розробити стартап-проект.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу

7. Орієнтовний перелік публікацій

Робота складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку літературних джерел з 70 назв. Загальний обсяг магістерської дисертації становить 90 сторінок, містить 42 малюнки, 24 таблиці.

## 8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проекту	Бояринова К.О., доцент		

## 9. Дата видачі завдання 23 березня 2018

### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел, формулювання мети, об'єкту, актуальності дослідження і тд.	02.02.2018	
2	Аналіз стану методів неруйнівного контролю ремонтних робіт	12.03.2018	
3	Розробка методів та засобів автоматизованого контролю багатошарових муфтових конструкцій з внутрішнім заповненням на діючому магістральному трубопроводі	24.03.2018	
4	Експериментальні дослідження застосування методів та засобів автоматизованого контролю багатошарових муфтових конструкцій з внутрішнім наповненням на діючому магістральному трубопроводі	04.04.2018	
5	Практичне застосування методу ультразвукового для контролю багатошарових муфтових конструкцій з внутрішнім наповненням на діючому магістральному трубопроводі	23.04.2018	
6	Розроблення стартап-проекту	03.05.2018	
7	Підведення висновків по дисертації	05.05.2018	

Студентка

Сергієнко К.С.

Науковий керівник дисертації

Подольан О.О.

\* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається із 92 аркушів. До неї входять 42 ілюстрація, 24 таблиця.

Актуальність роботи полягає в необхідності контролю наповнення багат шарових муфтових конструкцій.

Метою роботи є вдосконалення методів та засобів автоматизованого контролю наповнення багат шарових муфтових конструкцій.

Об'єкт дослідження: технологія контролю муфт з наповненням встановлених на магістральних трубопроводах високого тиску.

Предмет дослідження: ультразвукові методи контролю якості муфт з наповненням встановлених на трубопроводах.

Методи дослідження: У даній магістерській роботі використані методи математичного моделювання, метод кінцевих елементів, методи математичної статистики, натурний експеримент, електромагнітно-акустичний (ЕМА) методи контролю.

Наукова новизна: 1.Отримана система залежностей між формуванням акустичного тиску і товщиною наповнення багат шарових муфтових конструкцій.

2. Експериментальним шляхом перевірена можливість використання існуючих ультразвукових перетворювачів для наповнення багат шарових муфтових конструкцій.

3. Встановлений вплив параметрів ультразвукового перетворювача й умов його застосування на процес вимірювання товщин наповнення багат шарових муфтових конструкцій

4. Досліджені шляхи використання ультразвукових методів для проведення робіт з контролю наповнення багат шарових муфтових конструкцій.

Ключові слова: *ЕМА, перетворювач, акустичний тиск, неруйнівний контроль, ультразвукова хвиля.*

## ABSTRACT

This report consists 92 pages. It includes 42 figures and 24 tables.

Relevance: is the need to control the filling of multilayer coupling structures.

Research objective: to improve the automated control methods and facilities of the filling of multilayer coupling structures.

Research object: testing technology of couplings with filling installed on high-pressure main pipelines.

Research subject: ultrasonic testing methods of couplings quality with filling installed on pipelines.

Practical significance of the project: the results of theoretical and experimental researches can be used to control the filling of multilayer coupling structures.

Scientific novelty: 1. A system of dependencies between the formation of acoustic pressure and the depth of the filling of multilayer coupling structures is obtained.

2. Experimentally tested the possibility of using existing ultrasonic transducers to fill multilayer coupling structures.

3. The influence of ultrasonic transducer parameters and conditions of its application on the process of measuring the depth of filling of multilayer coupling structures is identified.

4. The ways of use of ultrasonic methods for carrying-out testing of filling of multilayer coupling structures are investigated.

*Keywords: EMA, converter, acoustic pressure, non-distractive testing, ultrasonic wave.*

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	8
РОЗДІЛ 1 .....	13
АНАЛІЗ СТАНУ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ РЕМОНТНИХ РОБІТ .....	13
1.1. Аналіз стану та перспектив розвитку муфтового ремонту діючих трубопроводів .....	13
1.2. Контроль якості монтажу клеєзварної муфти на діючому магістральному трубопроводі .....	16
1.2.1. Ділянка трубопроводу, що посилена муфтовою конструкцією, як об'єкт контролю .....	16
1.2.2. Методи контролю якості робіт при муфтовий ремонті трубопроводів .....	17
1.2.3. Система контролю якості монтажу муфти на діючому трубопроводі, що знаходиться під тиском .....	18
1.3. Постановка завдання дослідження: .....	19
Висновок за розділом 1 .....	21
РОЗДІЛ 2 .....	22
РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ БАГАТОШАРОВИХ МУФТОВИЙ КОНСТРУКЦІЙ З ВНУТРІШНІМ ЗАПОВНЕННЯМ НА ДІЮЧОМУ МАГІСТРАЛЬНОМУ ТРУБОПРОВОДІ ....	22
2.1. Розробка способів контролю якості заповнення підмуфтового простору самотвердіючою речовиною .....	22
2.1.1. Розробка способу контролю якості заповнення підмуфтового простору муфт British Gas .....	23
2.1.2. Розробка способу контролю якості заповнення подмуфтового простору за допомогою ультразвукового методу неруйнівного контролю .....	24
2.2. Дослідження процесу формування ниткою акустичних коливань .....	34
Висновок за розділом 2 .....	44
РОЗДІЛ 3 .....	45
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ БАГАТОШАРОВИХ	

МУФТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВНУТРІШНІМ НАПОВНЕННЯМ НА ДІЮЧОМУ МАГІСТРАЛЬНОМУ ТРУБОПРОВОДІ.....	45
3.1. Експериментальна перевірка способу контролю якості заповнення підмуфтового простору за допомогою ультразвукового методу неруйнівного контролю .....	45
3.2. Експериментальні дослідження можливості контролю якості формування підмуфтового шару розплавленим металом за допомогою ЕМА-методу неруйнівного контролю .....	46
Висновок за розділом 3.....	64
РОЗДІЛ 4 .....	65
РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....	65
«ВДОСКОНАЛЕНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮВАННЯ ЗАПОВНЕННЯ ПІДМУФТОВОГО ПРОСТОРУ МУФТИ, ВСТАНОВЛЕНОЇ НА ДІЮЧОМУ ТРУБОПРОВОДІ».....	65
4.1. Опис ідеї проекту .....	65
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	66
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	67
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту .....	76
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	79
Висновки за розділом 4 .....	83
ВИСНОВКИ.....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	85

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЭМА	-	електромагнітний акустичний;
ЭМА	-	електромагнітний акустичний перетворювач;
П		
УЗ	-	ультразвук;
ПЭП	-	п'єзоелектричний перетворювач;
$\lambda$	-	довжина нормальної акустичної хвилі;
$c_c$	-	фазова швидкість УЗ хвилі;
$f$	-	робоча частота УЗ випромінювання;
$p$	-	акустичний тиск на поверхні об'єкта;
$Z$	-	звуковий опір матеріалу



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Загальна протяжність магістральних трубопроводів, які знаходяться в Україні, більше ніж 42 000 км, близько 35 000 км – це магістральні газопроводи; 3 700 км складають нафтопроводи і 3 400 км – продуктопроводи.

На жаль, в Україні більшість магістральних газопроводів знаходяться в робочому стані більше 30 років і, щонайменше, необхідно проводити його ремонтування. Під час періодичної перевірки стану газопроводів можна виявити близько 50-60 дефектів на 1 км трубопроводу, і мають бути негайно усунуті [9]. Заміна пошкодженої (класичний метод ремонту) вимагає великих фінансових витрат, також, це тягне за собою припинення роботи трубопроводу та шкодить навколишньому середовищу. Головним методом, що не перешкоджає постачанню газу – це ремонт за допомогою муфт з наповненням (клеєсварних муфт). Точність отриманих результатів контролю впливає безпосередньо на ефективність, безпеку експлуатації, надійність і довговічність магістрального трубопроводу, що піддається ремонту.

Зараз практично немає єдиного методу оперативної організації контролю якості заповнення муфт на діючому магістральному трубопроводі, що забезпечило б якісне посилення конструкції трубопроводу.

Тому зараз активно досліджують та розробляють нові системи контролю якості муфти на діючому магістральному трубопроводі.

**Зв'язок роботи з науковими роботами, планами, темами.** Магістерська робота виконувалася на кафедрі виробництва приладів приладобудівного факультету Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря сікорського» відповідно до пріоритетних напрямів розвитку науки і техніки в Україні (згідно Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» № 2519-17 від 12.10.2010 р.). Окремі наукові результати роботи отримані при проведенні досліджень відповідно до планів науково-дослідних робіт приладобудівного факультету на кафедрі виробництва приладів, згідно НДР "Дослідження можливості контролю

якості монтажу муфти на магістральному трубопроводі" (№ держреєстрації 0118U003816).

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є вдосконалення методів та засобів автоматизованого контролю багат шарових муфтових конструкцій.

Щоб досягти поставленої мети необхідно вирішити завдання:

1. Проведення порівняльного аналізу методів контролю якості ремонту магістральних труб, оцінка недоліків вже існуючих методів контролю.
2. Розробка способу контролю якості муфти на діючому магістральному трубопроводі.
3. Обґрунтування вимог до головних параметрів, які необхідно перевірити під час ремонту трубопроводів при заповненні подмуфтового простору муфти, не тільки самотвердіючою речовиною, але й розплавленим металом.
4. Проведення перевірки можливості використання запропонованого способу контролювання якості монтажу муфти на діючому магістральному трубопроводі.

*Об'єктом дослідження* є технологія контролю муфт з наповненням встановлених на магістральних трубопроводах високого тиску.

*Предметом дослідження* є методи контролю якості муфт з наповненням встановлених на трубопроводах.

**Методи досліджень.** У даній магістерській роботі використані методи математичного моделювання, метод кінцевих елементів, методи математичної статистики, натурний експеримент, електромагнітно-акустичний (ЕМА) методи контролю.

**Наукова новизна.** В роботі вирішена важливі науково-практичні питання вдосконалення методів та засобів автоматизованого контролю багат шарових муфтових конструкцій.

1. Запропоновано метод перевірки якості заповнення підмуфтового простору муфти British Gaz, що пов'язаний з постановкою датчиків контролю за допомогою центруючих болтів.

2. Проведено дослідження перевірки суцільності заповнення підмуфтового простору муфт самотвердіючою речовиною. Також, досліджена можливість контролювання заповнення підмуфтового простору муфти як компаундом, так і розплавленим металом.

3. Проведено дослідження можливості використання ЕМА-товщинометрії для контролю заповнення підмуфтового простору розплавленим матеріалом та було розроблено і виготовлено працюючий макет ЕМА перетворювача. Проведено дослідження, що для контролювання якості заповнення підмуфтового простору більш ефективно використовувати ЕМА-товщинометрію.

4. Описано можливість використання магнітного методу для контролювання заповнення підмуфтового простору муфти з оболонками з діаманітного матеріалу самотвердіючою масою з феромагнітним наповнювачем.

5. Розглянуто метод перевірки якості герметичності підмуфтового простору за допомогою проведення гідравлічних випробувань, що суміщені з попередньою обробкою внутрішньої поверхні муфти адгезивом. Також, розглянуто можливість визначення витоків в разі розгерметизації підмуфтового простору.

### **Практична значимість отриманих результатів.**

Запропоновані, обґрунтовані й експериментально підтверджені методи перевірки заповнення муфти самотвердіючою речовиною, що встановлюється на діючий трубопровід.

*Впровадження результатів роботи:* Отримані в дисертації результати знайшли застосування в навчальному процесі кафедри виробництва приладів приладобудівного факультету НТУУ «КП».

**Апробація результатів.** Основні результати досліджень доповідалися і отримали позитивну оцінку на XI Науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє Приладобудування» (Київ, 2018).

**Публікації.** За результатами роботи автором опубліковано 5 наукових праць, з них 2 статті - у фахових виданнях НТУУ «КПІ», а також 4 публікації в виданні Білоруського національного Університету, отримано 4 патенти на корисну модель України.

**Структура і обсяг дисертації.** Робота складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку літературних джерел з 70 назв. Загальний обсяг магістерської дисертації становить 92 сторінок, містить 42 малюнки, 24 таблиці.

# РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ СТАНУ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ

### РЕМОНТНИХ РОБІТ

#### 1.1. Аналіз стану та перспектив розвитку муфтового ремонту діючих трубопроводів

Практично будь-який технічний об'єкт, магістральні трубопроводи України, з точки зору теорії надійності, характеризуються трьома етапами (рис. 1.1).

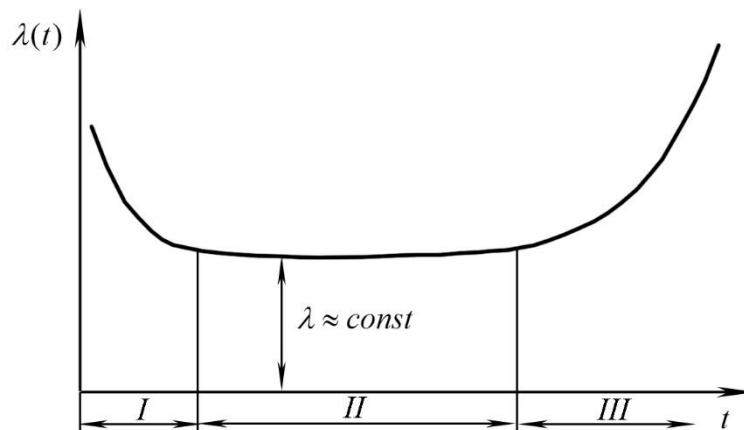


Рис. 1.1 Типова залежність інтенсивності відмов від часу експлуатації об'єкта

На першому етапі, що називається як період приробітку або період ранніх відмов, можна спостерігати спад інтенсивності відмов, що може бути викликаний, в основному, конструктивними або виробничими дефектами. Другий етап, називається етапом нормальної експлуатації і характеризується постійністю інтенсивності відмов. Третій етап, під кінець нормативного терміну служби трубопроводів (33 роки), який називають періодом старіння, зносу або пізнім етапом експлуатації [52], інтенсивність відмов різко зростає. Відмови на третьому етапі, в основному, обумовлені проявом корозійних або втомних дефектів.

За даними [52], 80% аварій спостерігається на газопроводах, що експлуатуються понад 20 років (рис.1.2). У той же час, велика частина таких техногенних об'єктів, як магістральні газопроводи експлуатується понад 20

років [4] і, за термінами експлуатації мають такий вигляд, як показано на рис. 1.3 (експлуатуються менше 10 років - 9%, від 11 до 20 років - 27%, від 21 до 32 років - 31%, понад 33 років (перевищення нормативного терміну експлуатації) - понад 33%).

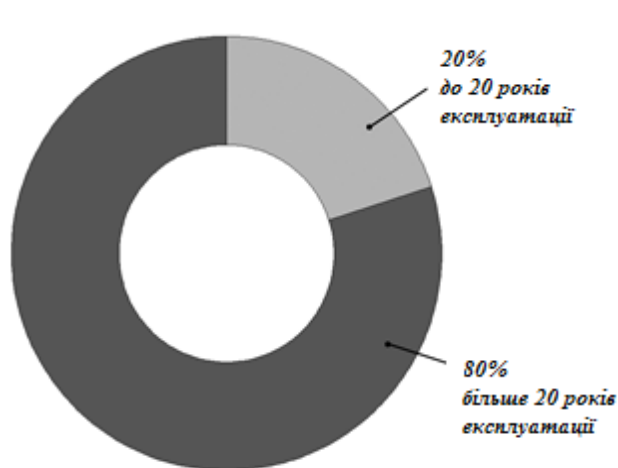


Рис. 1.2 Залежність кількості аварій від терміну експлуатації труб

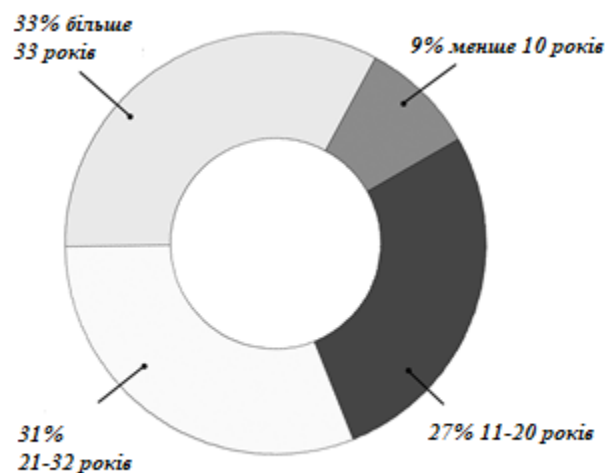


Рис. 1.3 Структура магістральних газопроводів України щодо термінів експлуатації (на 2008 рік)

Таким чином, можна вважати, що в цілому система магістральних газопроводів України скоро буде або вже знаходиться на пізньому етапі експлуатації, що характеризується загальним погіршенням стану трубопроводів, що викликано посиленням ролі чинників «зношеного» характеру, що обумовлюються циклічними і корозійними впливами продукту що транспортується і навколишнього середовища [4]. Під дією зазначених впливів на цьому етапі експлуатації трубопроводів окремі пошкодження в металічній основі труб і зварних швах розвиваються до критичного рівня, що призводить до відмов. Осередками зазначених ушкоджень, як правило, служать різні дефекти, допущені при виробництві труб, при виконанні будівельно-монтажних робіт [5].

Темпи протікання процесів накопичення і розвитку пошкоджень для різних ділянок трубопроводів можуть істотно відрізнятися. Це залежить від дефектів різних типів з різним ступенем небезпеки, використання різних

матеріалів труб і ізоляційних покриттів, відмінностей в термінах і режимах експлуатації, природно-кліматичних умов, корозійної активності ґрунтів. У зв'язку з цим стан одних ділянок може виявитися цілком задовільним — може бути близьким до критичного [52].

У будь-якому випадку, проведення всебічного контролю з метою виявлення дефектів і організація ремонту дефектних ділянок є найважливішим завданням для безперебійного транзиту продукту трубопровідним транспортом України.

Основним методом оцінки стану трубопроводів є гідравлічні випробування, проведення яких в умовах перекачування транспортується без виведення трубопроводу з експлуатації досить ускладнене, а в більшості випадків і неможливе. У зв'язку з цим на магістральних трубопроводах України великого поширення набули внутрішньотрубні методи неруйнівного контролю, що проводяться за допомогою інтелектуальних поршнів [4,5,52]. Методи внутрішньотрубної діагностики характеризуються високою продуктивністю, хорошою роздільною здатністю, що дозволяє не тільки виявляти, але і вимірювати дефекти, можливістю проведення розрахунків на міцність за даними діагностичної інформації та ранжування дефектів за ступенем небезпеки, можливістю проведення вибіркового ремонту, можливістю визначення швидкості розвитку дефектів на основі порівняння даних, отриманих в різні періоди часу [52].

Визначення залишкового ресурсу трубопроводів з використанням даних внутрітрубною сканування і застосування методів вирішення завдань міцності (надійності) що застосовуються в машинобудуванні дозволяє найбільш точно визначити ступінь небезпеки стану трубопроводів.

Більшість експлуатаційних руйнувань (відмов) магістральних трубопроводів обумовлено недостатнім опором сталі труб і зварних з'єднань зародженню і розвитком тріщин [52].

Традиційний розрахунок міцності визначає конструкцію прийнятною, якщо еквівалентні максимальні напруги в трубопроводі не перевищують межі

міцності матеріалу або межі текучості з урахуванням відповідних коефіцієнтів запасу. Реальна конструкція завжди містить дефекти, які в процесі експлуатації призводять до зародження і росту втомних тріщин, що ініціюють руйнування [52,5].

При виявленні дефектів ремонт проводиться наступними способами:

1. Вирізка дефектної ділянки з подальшою установкою катушок (при наявності локально згрупованих дефектів або заміна всієї ділянки при великих ураженнях стінки труби;
2. Заплавленим корозійних виразок і раковин;
3. Установка бандажів і муфт в місцях виток, стиків і на дефектних ділянках.

## **1.2. Контроль якості монтажу клеєзварної муфти на діючому магістральному трубопроводі**

### **1.2.1. Ділянка трубопроводу, що посилена муфтовою конструкцією, як об'єкт контролю**

Ділянка трубопроводу, що посилена муфтовою конструкцією, може бути представлена у вигляді системи, що підлягає контролю. Технічна система – представляє собою матеріальний об'єкт неприродного походження, який містить в собі певні складові елементи, що різняться своїми властивостями, які проявляються під час взаємодії, об'єднаних зв'язками і вступають в певні зв'язки між собою і з зовнішнім середовищем, щоб виконувати функцію технічної системи [30,66]. У кожній технічній системі існує функціональна складова - об'єкт керування. Головними функціями об'єкта керування в технічній системі є сприйняття управляючих впливів і в змінах відповідно до них свого стану. Об'єкт управління технічної системи не виконує функцій по прийняттю рішень, тобто не формує і не вибирає альтернативну поведінку, а тільки реагує на зовнішні чинники, змінюючи свій стан таким чином, що передбачається його конструкцією [30,66]. Об'єкт управління складається з виконавчої та сенсорної частин. Через сенсорну частину об'єкт управління отримує інформаційні сигнали від системи контролю.



Монтаж клеєзварної муфти на трубопроводі включає кілька етапів. Безпосередньо виготовлення деталей вузлів, складового конструктиву муфти. Послідовний монтаж складових частин муфти на посилюваній трубі і скріплення їх між собою. Питання контролю якості частин муфти і їх з'єднань добре вивчені. Найбільш важливий етап монтажу муфти на трубопроводі - формування підмуфтового шару. Підмуфтовий шар призначений для передачі частини навантаження з посилюваної труби на зовнішню оболонку муфти. Від його параметрів залежить якість всієї муфтової конструкції. При некоректно обраних параметрах міцності підмуфтового шару або технологічних параметрах його формування, ефективність посилення трубопроводу, в кращому випадку, буде низькою. Або, в екстремальних випадках, не виключений варіант фізичного руйнування трубопроводу. Очевидно, що при формуванні підмуфтового шару з матеріалу, що має велику силу стискання (наприклад, повітря), муфтова конструкція свої функції виконувати не буде. Створення підвищеного тиску в підмуфтовому просторі, безумовно, дасть можливість частково або навіть повністю розвантажити посилювану трубу при фіксованому тиску в трубопроводі, але може викликати неприпустимі напруги в стінці труби при зміні робочого тиску. Неврахована усадка або розширення матеріалу підмуфтового шару в процесі твердіння можуть так само привести як до зниження ефективності ремонту в цілому, так і до появи неприпустимих напружень в посилюваній трубі.

У зв'язку з цим, процес монтажу муфти на діючий трубопровід повинен контролюватися, цьому особливому контролю може відноситись етап формування підмуфтового шару. Обсяг параметрів, що підлягають контролю з метою досягнення максимальної ефективності ремонту, буде визначено в процесі виконання цієї роботи.

### **1.2.2. Методи контролю якості робіт при муфтовий ремонті трубопроводів**

Існуючі нормативні документи, що регламентують обсяг обов'язкового контролю при муфтовому ремонті трубопроводів в Україні [59], основну увагу

приділяють контролю якості зварних швів, що проводяться традиційними рентгенографічним [18,32], магнітографічним [67] або ультразвуковими методами [19,20,32,70]. Очевидно, що при установці сучасних муфт, що заповнюються самотвердіючою речовиною під тиском, такий обсяг контролю є явно недостатнім.

Перш за все, найважливішим елементом технології є контроль збереження герметичності підмуфтового простору. Мікродефекти в зварних швах, що не виявляються рентгеноскопічним і ультразвуковим контролем, можуть розвинутиися при створенні необхідного тиску в підмуфтовому просторі, що призведе до його розгерметизації і зниження ефективності всього ремонту в цілому.

Точному контролю повинен підлягати процес формування підмуфтового шару, що визначає ефективність всього ремонту.

Контролю повинна підлягати рівномірність заповнення подмуфтового простору самотвердеющою речовиною з метою оптимізації режимів запрессовки речовини і виключення поява бульбашок і несплошностей в подмуфтовом шарі.

Важливі також питання контролю процесів усадки самотвердіючої речовини під час перехідного процесу його полімеризації або тверднення. Крім того, прямого або непрямого контролю повинна підлягати рівномірність розподілу механічних кільцевих напружень між трубою і муфтою.

### **1.2.3. Система контролю якості монтажу муфти на діючому трубопроводі, що знаходиться під тиском**

Під контролем мається на увазі процес, що забезпечує досягнення контрольованою системою поставлених цілей шляхом порівняння фактичного стану системи з бажаним [11,28,29]. Під системою розуміється комбінація взаємодіючих елементів, організованих для досягнення однієї або декількох поставлених цілей [10,13,24,30,63]. Під системою контролю в даній роботі розуміється комбінація елементів і відносин між ними, які беруть участь в процесі контролю монтажу клеєзварної муфти шляхом порівняння, в ході

виконання робіт, поточних значень інформаційних параметрів, що характеризують фактичний стан трубопроводу, посиленого муфтовою конструкцією, з значеннями, що забезпечують максимальну ефективність муфтового ремонту. Основними цілями контролю монтажу клеєзварної муфти є визначення оптимальних значень інформаційних параметрів, що впливають на ефективність муфтового ремонту, виявлення відхилень поточних значень даних параметрів від оптимальних значень, розробка заходів щодо подолання виявлених відхилень, в тому числі, розробка заходів щодо коригування технологічних процесів монтажу муфти. Очевидно, що розробляється система контролю монтажу клеєзварної муфти на магістральному газопроводі повинна складатися з декількох складових частин - вимірювача інформаційних параметрів, обчислювача оптимальних значень даних параметрів і аналізатора, що оцінює невідповідність вимірюваних значень оптимальним і дає через сенсорну частину об'єкта управління контрольованої системи пропозицію для дій його виконавчої частини для усунення цієї невідповідності.

### **1.3. Постановка завдання дослідження:**

Головним завданням даної роботи полягає в вдосконаленні методів та засобів автоматизованого контролю багат шарових муфтових конструкцій з внутрішнім заповненням на діючому магістральному трубопроводі, що знаходиться під тиском.

Для вирішення цього завдання необхідно:

1. Розробити науково обґрунтовані вимоги до основних параметрів, що підлягають контролю під час муфтового ремонту трубопроводів при заповненні підмуфтового простору як самотвердіючою речовиною, так і розплавленим металом.
2. Провести теоретичні дослідження можливості контролю якості заповнення підмуфтового простору самотвердіючою речовиною методами неруйнівного контролю.

3. Провести експериментальні дослідження можливості контролю заповнення підмуфтового простору розплавленим матеріалом за допомогою ЕМА-товщинометрії.

4. Визначити шляхи подальшого вдосконалення системи контролю якості монтажу муфти на діючому магістральному трубопроводі

## **Висновок за розділом 1**

1. На жаль, на даний момент відсутні будь-які науково обґрунтовані вимоги до системи контролю виконання монтажних робіт клеєзварних муфт на магістральному трубопроводі високого тиску, хоча цей процес вимагає дотримання оперативного контролю параметрів, що визначають ефективність посилення трубопроводу.

2. Проблема використання технології, що базується на зановненні підмуфтового простору муфти під тиском до кінця не досліджені, хоча і проводяться великі роботи в області оцінки напружено-деформованого стану трубопроводу, що посилюється муфтою. По-перше, грає роль відсутності інформації, щодо комплексного впливу параметрів муфти, трубопроводу, самотвердіючої речовини, технологічних параметрів процесу встановлювання муфти на магістральний трубопровід і параметрів процесу запресовування самотвердіючої речовини в підмуфтовий простір та на ефективність посилення труби. По-друге так само відсутня інформація про вплив на напружений стан посилюваної труби та на підмуфтовий простір (під час запресування) під час полімеризації об'ємних властивостей та параметрів міцності речовини підмуфтового шару.

По-третє, відсутні дані про ефективність заповнення розплавленим металом підмуфтового простору муфти, що встановлюється на магістральному трубопроводі.

3. Методи контролю, які використовуються в даний час для ремонту трубопроводів під тиском не передбачають забезпечення герметичності при заповненні підмуфтового простору муфти та не створюють оптимальний тиск при запресуванні самотвердіючої речовини. Тобто, до уваги не беруться показники міцності муфти, підмуфтового шару, та самого трубопровода. Також, не враховується і рівномірне розподілення речовини під час заповнення підмуфтового простору.

## **РОЗДІЛ 2**

### **РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ БАГАТОШАРОВИХ МУФТОВИЙ КОНСТРУКЦІЙ З ВНУТРІШНІМ ЗАПОВНЕННЯМ НА ДІЮЧОМУ МАГІСТРАЛЬНОМУ ТРУБОПРОВОДІ**

#### **2.1. Розробка способів контролю якості заповнення підмуфтового простору самотвердіючою речовиною**

Підмуфтовий простір реальних муфт, як правило, має складну форму з непостійним прохідним перрізом. Внутрішні підкладні кільця, технологічні установочні кільця та валики поздовжніх, кільцевих і спіральних зварних швів є перешкодою для руху самотвердіючої речовини. При високій швидкості заповнення підмуфтового простору, це може привести до нерівномірного заповнення порожнини і ймовірної появи в підмуфтовому шарі повітряних бульбашок. Для запобігання цьому в документі, який регламентує порядок формування підмуфтового шару [60], обумовлено тим, що заповнення підмуфтового простору самотвердіючою речовиною має здійснюватися через штуцер, встановлений в нижній частині муфти, а швидкість введення речовини повинна забезпечувати нерівномірність зміни його рівня в підмуфтовому просторі, що не перевищує 30 мм по всій площі муфти. У разі нерівномірного заповнення підмуфтового простору, пропонується зупинити процес подачі самотвердіючої речовини до вирівнювання верхньої поверхні речовини. При цьому контроль заповнення проводиться тільки на завершальному етапі заповнення муфти через дренажні отвори в верхній частині оболонки деяких видів муфт за допомогою спеціальних щупів, аналогічних широко відомим щупам контролю рівня масла в автомобілях. Іншим керівним документом РД-75.180.00-КТН-164-06 (Технологія проведення робіт композитно-муфтового ремонту магістральних трубопроводів) контроль заповнення пропонується проводити за допомогою технологічних отворів по всій площі оболонки муфти. Методи, які використовуються для контролю - трудомісткі і не гарантують формування однорідного підмуфтового шару і мають обмежене застосування при установці деяких видів муфт, що мають більшу глибину підмуфтового

простору. Контроль заповнення в муфтах складної форми і з малою глибиною підмуфтового простору не передбачається, а запропоновано обмеження мінімального часу заповнення всього об'єму, що призводить до необґрунтованого подовження ремонтних робіт. При цьому вимоги справедливі тільки для одного виду компаунда.

Оперативний контроль заповнення підмуфтового простору методами неруйнівного контролю дозволить мінімізувати час проведення робіт і підвищити якість подмуфтового шару, в зв'язку з чим є важливим атрибутом технологічного ланцюжка муфтового ремонту трубопроводів, що дозволяє мінімізувати час. Оперативне виявлення нерівномірного заповнення підмуфтового простору дозволить оптимізувати процес заповнення самотвердіючої речовини.

#### **2.1.1. Розробка способу контролю якості заповнення підмуфтового простору муфт British Gas**

В основу технології муфтового ремонту British Gas [54] належить технічне рішення, що було запатентоване у Великобританії [6]. Конструкція, що підлягає ремонту, містить дві напівмуфти. Під час проведення ремонту, напівмуфти разом механічно з'єднуються, утворюючи замикаючу оболонку навколо ділянки трубопроводу, на якій виконуються ремонтні роботи. Потім оболонка центрується за допомогою технологічних елементів (болтів), що встановлюються в отворах корпусу. Далі вільний простір між трубопроводом і муфтою з обох сторін герметизується з допомогою речовини, що застигає (цементу, епоксидної шпаклівки і т.д.). Через штуцери в ізольований отвір наповнюється епоксидна речовина, що забезпечує високу жорсткість конструкції. Технологія British Gas дуже поширена в Європі і Росії. Наявність центруючих болтів дає можливість організувати контроль розподілу самотвердіючої речовини в підмуфтовому просторі досить легкими методами (рис. 2.1) [42,52].

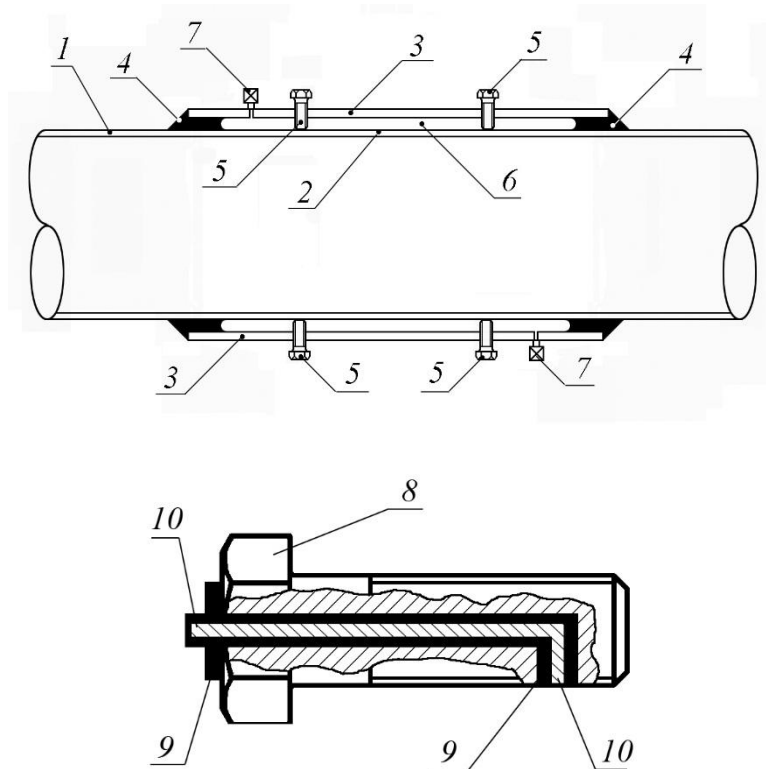


Рис.2.1. Використання центруючих болтів для встановлення датчиків неруйнівного контролю

1 - трубопровід, 2 – посилювана ділянка труби, 3 - муфта, 4 - торцеві ущільнювачі, 5 - болти з датчиками неруйнівного контролю, 6 - підмуфтовий простір, 7 - штуцери для запресовування самотвердіючої речовини, 8 – центруючий болт; 9 - діелектрична вставка; 10 – датчик

Тип датчика, що повинен використовуватись, має вибиратись в залежності від параметра, за виміром якого може перевірятись наявність або відсутність самотвердіючої речовини (компаунда) в місці контролю. Наприклад, можуть бути використані ємнісні датчики, датчики опору, магнітні датчики, температурні датчики, хімічні датчики. На запропонований спосіб контролю отримано патент на корисну модель України [42].

### **2.1.2. Розробка способу контролю якості заповнення подмуфтового простору за допомогою ультразвукового методу неруйнівного контролю**

У разі заповнення підмуфтового простору муфт, зроблених зі сталі, самотвердіючою речовиною на епоксидній або поліуретановій основі, а також легкоплавким розплавленим металом (наприклад, свинцем, оловом або



їх сплавами), контроль процесу формування підмуфтового шару може здійснюватися ультразвуковим методом. Враховуючи високу температуру конструкції при виконанні ремонтних робіт при використанні розплавленого металу, що визначається температурою його плавлення. Застосування найбільш поширених пьезоелектричних перетворювачів, пов'язане з певними труднощами (обмеженість діапазонів температури, складність або неможливість контролю через забруднення поверхонь) [1,8,32,33]. Тому в якості випромінювача та приймача ультразвукових коливань, в цьому випадку, пропонується застосування електромагнітного перетворювача (ЕМАП).

У даний час теорія ЕМА-збудження ультразвукової хвилі добре досліджена, що дає можливість розглянути питання практичного застосування ЕМА методу для контролювання процесу формування підмуфтового шару [43,44,45,46,51,62].

Постановка задачі формується наступним чином. Необхідно визначити характерні відмінності в сигналі, що був отриманий при зондуванні ділянок муфти з суцільним підмуфтовим шаром та ділянок, що містять повітряні бульбашки або сторонні включення (наприклад, рідина, що залишається після гідравлічних випробувань муфти). Очевидно, що ця задача може бути ефективного вирішена при використанні ехо-методу.

З першого погляду може здатись, що цей метод досить простий, але проведення ЕМА-контролю підмуфтового простору має ряд особливостей, які вимагають обліку в рамках цієї роботи.

У найпростішому випадку, збуджена в верхньому шарі оболонки муфти за допомогою ЕМАП або ПЕП ультразвукова хвиля вводиться перпендикулярно границі оболонки и підмуфтового простору (рис. 2.2). Якщо в підмуфтовому просторі знаходиться повітря, то межа сталь-повітря може бути прирівняна до межі з вакуумом, так як газоподібні речовини мають досить малі звукові опори в порівнянні зі сталлю. Для повітря  $Z = 0,0004 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^3$ , тому на межі сталь-повітря коефіцієнт відображення

відрізняється всього на [46]. Таким чином, досить впевнено можна вважати, що хвиля таку межу не проходить і повертається в середовище. Відображений від межі імпульс може бути легко зареєстрований ЕМАП, що підключається до входу реєстратором.

У разі, якщо контрольованій ділянці підмуфтового простору, хо заповнюється самотвердіючою речовиною на епоксидній або поліуретановій основі, або ж розплавленим металом (наприклад, оловом або свинцем), характер поширення хвилі змінюється, так як частина хвилі буде поширюватись в підмуфтовому шарі і з нього в тіло труби.

У зв'язку з тим, що розглядається введення плоскої ультразвукової хвилі перпендикулярно межі, то відбита та поглинута хвилі будуть поширюватись так само перпендикулярно цій межі.

Враховуючи невелику глибину підмуфтового простору, що обмежена висотою валика поздовжніх и кільцевих зварних швів, яка, за чинними нормативними документами не повинна перевищувати 3 мм, можна виділити три типові варіанти формування підмуфтового шару, що проілюстровано на рисунку 2.2.

Варіанту (а) відповідає наявність повітряної бульбашки в підмуфтовому просторі або незаповнений підмуфтовий простір в точці вимірювання. Варіант (б) характеризується відсутністю адгезії речовини підмуфтового шару до внутрішньої поверхні муфти, що створює перешкоду для проходження ультразвукової хвилі. Варіанту (в) відповідає частково заповнений підмуфтовий простір.

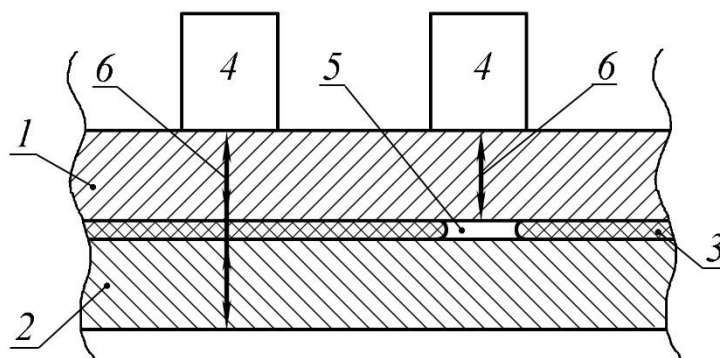


Рис. 2.2. Контроль формування підмуфтового шару  
ультразвуковим ехо-методом

1 - оболонка муфти, 2 - посилювана труба, 3 - підмуфтовий шар,  
4 - УЗ датчики, 5 - повітряна бульбашка, 6 - ультразвукова хвиля

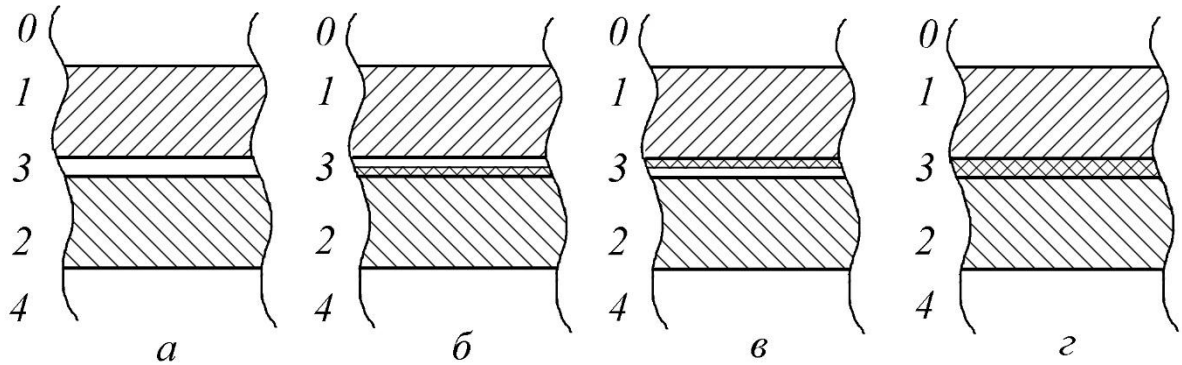


Рис. 2.3. Основні варіанти заповнення підмуфтового простору

0 - повітря, 1 - оболонка муфти, 2 - посилювана труба, 3 - підмуфтовий шар,

4 – продукт, що транспортується;

а - відсутність заповнення, б і в - часткове заповнення,

г - повністю заповнений підмуфтовий простір

Варіант (в) характеризується хорошим акустичним контактом між внутрішньою поверхнею муфти та підмуфтовим шаром, і поганим між підмуфтовим шаром та посилюваною трубою. Варіант можливий, наприклад, при використанні заздалегідь залуженої внутрішньої поверхні муфти при заповненні підмуфтового простору розплавленим металом і відсутності заповнення, або хорошому заповненні підмуфтового шару, але поганого акустичного контакту з трубою через погано підготовлену поверхню труби, наявності шару іржі, або місць шпаклювання дефектів. Варіанту (г) відповідає повністю заповнений речовиною підмуфтовий простір з гарною адгезією поверхонь муфти і труби до речовини підмуфтового шару, що створює якісний акустичний контакт між шарами конструкції.

Таким чином, ультразвукова хвиля, збуджена ультразвуковим датчиком в шарі муфти 1, повинна подолати межі 1-3, пройти через підмуфтовий шар 3, межі 3-2 між підмуфтовим шаром 3 і трубою 2, відбитися від внутрішньої

поверхні труби (межа 2-4) і повернутися аналогічним шляхом в стінку муфти, після чого вона буде зареєстрована ультразвуковим датчиком. Очевидно, що проходячи шари і межі між ними, звукова хвиля (імпульс) буде піддаватися відомим змінам (відображенню, поглинанню, розсіюванню). В результаті багаторазових поділів і відбиттів хвилі на кожній межі, при наявності нескінченної вхідної хвилі виникає накладення та інтерференція.

У разі, якщо підмуфтовий простір заповнений повітрям (варіант (а)), буде мати місце повне відображення звукової хвилі від межі 1-3, що характеризується наявністю загасаючої послідовності імпульсів на виході ультразвукового датчика, викликаних впливом багаторазового відбиття хвилі між межами стінки муфти.

Після якісного заповнення підмуфтового простору самотвердіючою речовиною або розплавленим металом (варіант (в)), ультразвуковий імпульс розподілиться на межах 1-3, при цьому, звуковий тиск розділених хвиль буде визначатися акустичними властивостями матеріалу підмуфтового простору. В цьому випадку, якщо звуковий тиск падає на межі 1-3 хвилі позначити як  $p_{11}$ , відображеної, як  $p_{12}$ , а минулої як  $p_{31}$ , то коефіцієнт відображення межі 1-3 може бути визначений як

$$k_p = \frac{p_{12}}{p_{11}}, \quad (2.1)$$

а коефіцієнт пропускання, як

$$k_\tau = \frac{p_{31}}{p_{11}}. \quad (2.2)$$

При цьому, значення коефіцієнтів відбиття і пропускання межі 1-3 можуть бути визначені з виразів [51,52]:

$$k_p = \frac{Z_3 - Z_1}{Z_3 + Z_1}, \quad (2.3)$$

$$k_\tau = \frac{2 \cdot Z_3}{Z_3 + Z_1}, \quad (2.4)$$

де :

$$Z_1 = \rho_1 \cdot c_1, \quad Z_3 = \rho_3 \cdot c_3 \quad (2.5)$$

$Z_1, Z_3$  - звуковий опір (імпеданс), відповідно, матеріалів стінки муфти і підмуфтового шару  $\rho_1, \rho_3$ , - щільність матеріалів стінки муфти і підмуфтового шару,  $c_1, c_3$  - швидкість звуку (для поздовжніх хвиль) в матеріалах стінки муфти і підмуфтового шару.

У більшості випадків, муфти виготовляють з того ж матеріалу, що і труба, що посилюється. Для магістральних газопроводів - це сталь, що характеризується звуковим опором  $Z_1 = Z_2 = 45 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^3$ . Для прикладу, в якості матеріалу підмуфтового простору може бути розглянута масово застосовувана для муфтового ремонту самотвердіюча речовина на поліуретановій основі SZLAST, звуковий опір  $Z_3$  якої може бути визначений відповідно до вираження 2.5. Вхідний елемент значення швидкості звуку  $c_3$ , що входить у вираз, для поздовжньої ультразвукової хвилі може бути розрахований за параметрами, що визначають властивості міцності матеріалу, за формулою, що запропонована в [25]:

$$c_3 = \sqrt{\frac{E_3}{\rho_3} \cdot \frac{1 - \mu_3}{(1 + \mu_3)(1 + 2 \cdot \mu_3)}} \quad (2.6)$$

Де  $E_3, \mu_3$  - модуль пружності і коефіцієнт Пуассона матеріалу підмуфтового шару.

Коефіцієнт Пуассона і модуль пружності самотвердіючої речовини SZLAST був визначений експериментально на обладнанні TIRA-test кафедри опору матеріалів Київського політехнічного інституту [52,53], їх значення склали  $\mu_3 = 0.487$ ,  $E_3 = 64,9 \text{ МПа}$  . Щільність відповідно до паспортних даних складає  $\rho_3 = 1.5 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$  .

Таким чином, швидкість звуку в матеріалі SZLAST становить:

$$c_3 = \sqrt{\frac{E_3}{\rho_3} \cdot \frac{1 - \mu_3}{(1 + \mu_3)(1 + 2 \cdot \mu_3)}} = 2,75 \text{ км} / \text{с} \quad (2.7)$$

Звідси звуковий опір матеріалу SZLAST:

$$Z_3 = \rho_3 \cdot c_3 = 4,125 \cdot 10^6 \text{ кг} / (\text{м}^2 \cdot \text{с}) = 4,125 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^3. \quad (2.8)$$

разі заповнення підмуфтового простору оловом, звуковий опір матеріалу підмуфтового шару дорівнюватиме  $Z_3 = 24 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^3$ .

Для компаундного підмуфтового шару, сформованого з матеріалу SZLAST, для межі 1-3,  $k_p = -0,832$ ,  $k_r = 0,168$ , тобто, звуковий тиск відображеної звукової хвилі становить  $-83,2\%$  падаючої, а поглинаючої  $16,8\%$ . Для кордону 3-2 (перехід з підмуфтового простору в стінку труби, ці значення будуть складати  $k_p = 0,832$ ,  $k_r = 1,832$ , (звуковий тиск відбитої від межі 2-3 хвилі становить  $83,2\%$  падаючої на неї, а поглинутої  $183,2\%$ ). Збільшення звукового тиску при проходженні межей 2-3 пояснюється значно великим, порівнюючи з поліуретаном, звуковим опором сталі.

В газопроводах, внутрішня поверхня труби межує з газом, тому межі 3-4 можна вважати вільною, коефіцієнт відображення якої дорівнює одиниці.

Для підмуфтового шару, сформованого з олова, для межі 1-3,  $k_p = -0,3$ ,  $k_r = 0,7$ , тобто, звуковий тиск відбитої звукової хвилі становить  $-30\%$  падаючої, а поглинутої  $70\%$ . Для межі 3-2 (перехід з підмуфтового простору в стінку труби, ці значення будуть складати,  $k_p = 0,3$ ,  $k_r = 1,30$ , (звуковий тиск відбитої від межі 2-3 хвилі становить  $30\%$  падаючої на неї, а поглинутої  $130\%$ ). Отримані дані зведені в таблицю 2.1.

**Таблиця 2.1 Проходження ультразвукової хвилі через межі розділу шарів муфтової конструкції**

Межа	Звуковий тиск в % від звукового тиску, що падає на кордон хвилі					
	незаповнений ПП		компаундне заповнення ПП (SZLAST)		заповнення ПП розплавленим металом (олово)	
	Відображе на хвиля	Поглину та хвиля	Відображе на хвиля	Поглину та хвиля	Відображе на хвиля	Поглину та хвиля
1-3 муфта-ПП шар	$\approx -100\%$	-	$-83,2\%$	$16,8\%$	$-30\%$	$70\%$
2-3	-	-	$83,2\%$	$183,2\%$	$30\%$	$130\%$

<b>III шар труба</b>						
<b>2-4 труба газ</b>	-	-	$\approx -100\%$	-	$\approx -100\%$	-

У процесі поширення ультразвукової хвилі в шарах муфти в результаті процесу розсіювання на неоднорідних структурах шарів і поглинання частини енергії матеріалом шарів, відбувається її загасання. Обидва види втрат обмежують практичне використання ультразвукового методу для контролю процесу формування підмуфтового шару. серйозні складнощі, що виникають при контролі через появу численних відображень, які відповідають різному часу приходу хвиль.

Зміна звукового тиску в ультразвуковій хвилі, що проходить деяку відстань в однорідному середовищі, описується експоненціальним рівнянням виду [25]:

$$p = p_0 \cdot e^{-\alpha l}, \quad (2.9)$$

де:  $p$  - звуковий тиск на виході ділянки довжиною  $l$  однорідного матеріалу,  $p_0$  - звуковий тиск на початку ділянки,  $\alpha$  - коефіцієнт загасання.

Таким чином, звуковий тиск  $p_0$  хвилі, що пройшла ділянку 1 (муфта), на межі 1-3 знизиться до величини  $p_{11} = p_0 \cdot e^{-\alpha_M \delta_M}$ , де  $\alpha_M$  - коефіцієнт загасання матеріалу муфти. Хвиля, що проходить через межі 1-3 буде створювати звуковий тиск  $p_{31} = D \cdot p_{11}$ , який знизиться до величини  $p_{32} = p_{31} \cdot e^{-\alpha_{III} \delta_{III}}$ , де  $\alpha_{III}$  - коефіцієнт загасання матеріалу підмуфтового простору на межі 3-2.

Тобто, звуковий тиск буде змінюватися на межах середовищ і зменшуватися при поширенні в матеріалах шарів.

Виходячи з вищесказаного, отримуємо формулу, враховуючи кожний шар конструкції:

$$P_{\Sigma} = P_0 \cdot \frac{16Z_1 \cdot Z_2 \cdot Z_3^2 \cdot (Z_2 - Z_4)}{(Z_1 - Z_3)^2 \cdot (Z_2 - Z_3)^2 \cdot (Z_2 - Z_4)} \cdot e^{-2(\alpha_M \delta_M + \alpha_{III} \delta_{III} + \alpha_{mp} \delta_{mp})} \quad (2.10)$$

Де:  $Z_1 = \rho_1 \cdot c_1$  - акустичний опір матеріалу муфти,  $Z_2 = \rho_2 \cdot c_2$  - акустичний опір матеріалу труби,  $Z_3 = \rho_3 \cdot c_3$  - акустичний опір матеріалу заповнення підмуфтового простору,  $\rho_1, \rho_2, \rho_3$  - густина матеріалу,  $c_1, c_2, c_3$  - швидкість поширення,  $\alpha_m, \alpha_{mp}, \alpha_{tr}$  - коефіцієнт згасання матеріалу муфти, підмуфтового простору, труби.

Якщо не брати до уваги загасання в шарах і розглянути лише головні максимуми, то можна виділити чотири основні характерні луна-імпульсу, при аналізуванні яких можна судити про якість формування підмуфтового шару (рис. 2.4).

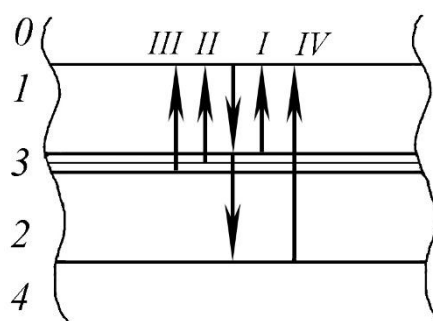


Рис. 2.4. Формування характерних луна-імпульсів

0 - повітря, 1 - оболонка муфти, 2 - посилювана труба,  
3 - підмуфтовий шар, 4 – продукт, що транспортується;

На рисунку позначені: I - луна-імпульс, що відбивається від межі муфта-підмуфтовий шар, II - луна-імпульс, що відбивається від внутрішньої межі підмуфтового шару (варіанти б і в рис. 4.3.), III - луна-імпульс, що відбивається від межі підмуфтовий шар-труба, IV - луна-імпульс, що відбивається від межі труба-продукт, що транспортується.

Дані розрахунку звукового тиску, що створюється характерними луна-імпульсами при різних варіантах формування підмуфтового шару, представлені в таблиці 2.2.

**Таблиця 2.2 Звуковий тиск, що створюється за допомогою характерних луна-імпульсів**

ехо- імпульси	компаундне заповнення ПП	заповнення ПП розплавленим
------------------	-----------------------------	-------------------------------



	(SZLAST)			металом (олово)		
	варіант а, б	варіант в	варіант г	варіант а, б	варіант в	варіант г
I	$\approx p_0$	$0,832p_0$	$0,832p_0$	$\approx -p_0$	$0,3p_0$	$0,3p_0$
II	-	$0,308p_0$	-	-	$0,91p_0$	-
III	-	-	$0,256p_0$	-	-	$0,273p_0$
IV	-	-	$0,095p_0$	-	-	$0,828p_0$

Щоб було більш зрозуміло, отримані дані можуть представлятися у вигляді графічних діаграм (рис. 2.5.).

За отриманими даними можна зробити висновок, що ультразвуковий метод може використовуватися для контролювання якості заповнення підмуфтового шару, як рідким компаундом, так і з розплавленим металом. слід зазначити, що його застосування для контролю процесу заповнення підмуфтового простору компаундом пов'язано з труднощами визначення корисного сигналу на фоні багатократних віддзеркалень УЗ хвилі від стінок оболонки муфти, що в даному випадку представлені шумом [52]. Це вимагає точної схемотехнічної побудови ультразвукового приладу.

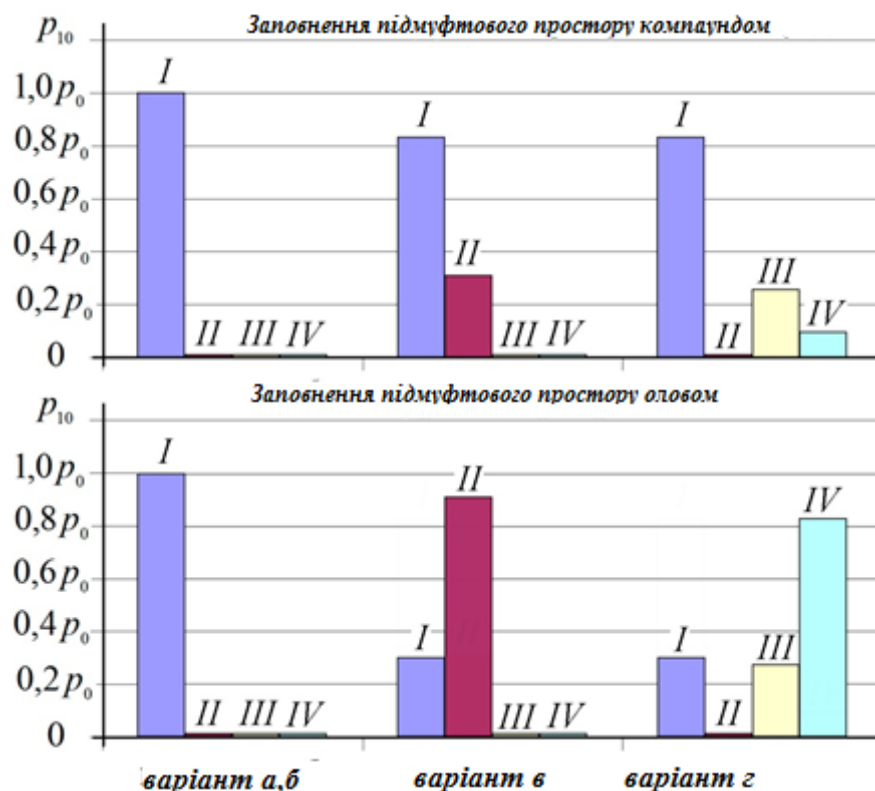


Рис. 2.5. Заповнення підмуфтового простору компаундом та оловом

## 2.2. Дослідження процесу формування ниткою акустичних коливань

Задамо такі умови : Нехай на відстані  $h$  (рис. 2.6) від пружного, однорідного, ізотропного і лінійного електропровідного напівпростору 2 розташована нитка з гармонійним струмом:

$$I = I_0 \cdot \cos(\omega t) = I_0 \cdot \cos(2\pi f t) \quad (2.11)$$

де  $I_0$  - амплітудне значення струму нитки;  $\omega$  - кругова частота;  $f$  - частота струму в нитці.

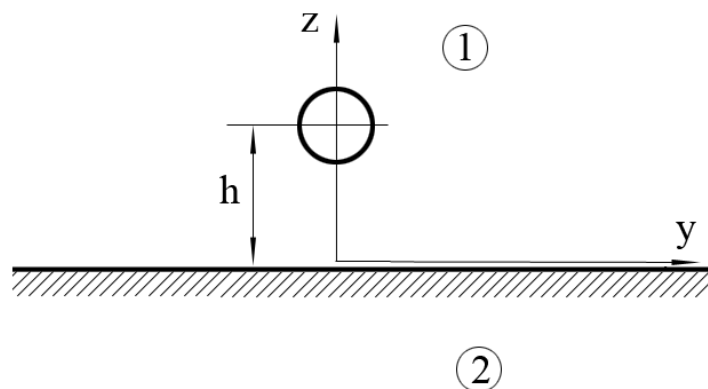


Рис. 2.6. Розташування нитки-випромінювача щодо об'єкта контролю

Нитка натягується вздовж осі  $0x$ , по лінії  $y = 0, z = h$ .

Напівпростір 1 ( $z > 0$ , повітря), характеризується електропровідністю  $\sigma_1 = 0$ , магнітною проникністю  $\mu_1 = \mu_0$  і діелектричною проникністю  $\varepsilon_1 = \varepsilon_0$ .

Напівпростір 2 ( $z \leq 0$ , метал), має електропровідність  $\sigma_2 = \sigma$ , магнітну проникність  $\mu_2 = \mu_0 \cdot \mu$ .

Зроблено наступні припущення. Нитка не коливається та жорстко закріплена. Фаза і амплітуда струму в нитці постійна по всій її довжині.

В результаті проходження струму по нитці, індукуються вихрові струми. Електродинамічна (пондеромоторна) взаємодія первинного і наведеного струмів призводить до появи тисків на поверхні півпростору 2.

У багатьох вчених отримані залежності, які описують ці процеси. На жаль, висновки різних дослідників про природу появи акустичного тиску в ЕМА

перетворювачів часто суперечать один одному. «Поки що немає чіткого уявлення про основні механізми ЕМА перетворення в таких (феромагнітних, прим. Автора проекту) середовищах. Думки дослідників різні з приводу питання і експериментальні результати різняться між собою» [4,23,62]. Оцінка правоти тих чи інших наукових тверджень не відноситься до компетенції автора даного проекту. Через це формули, що використовуються при розрахунках будуть з посиланнями, але не гарантуючи абсолютну точність.

При певних припущеннях [56], вираз для щільності індукованого ниткою струму може бути записано у вигляді:

$$j = -\sqrt{i} \cdot \frac{k \cdot \dot{I} \cdot h}{\pi(h^2 + y^2)^2} \cdot \exp(\sqrt{i} \cdot k \cdot z), \quad (2.12)$$

де:  $i = \sqrt{-1}$ ,  $\dot{I}$  - струм в нитки,  $k^2 = \omega \cdot \sigma \cdot \mu_0 \cdot \mu$  - коефіцієнт вихрових струмів,  $\sigma$  - електропровідність.

Аналіз виразу показує, що максимальна щільність струму при заданій відстані  $h$  спостерігається під ниткою зі струмом з координатами ( $y = 0$ ,  $z = 0$ ). Крім того, щільність струму при ( $y = 0$  і  $z = 0$ ) обернено пропорційна відстані  $h$ . При зміні координат  $y$  і  $z$  в напрямку напівпростору 2 щільність індукованого струму падає.

Щоб оцінити вклад нормальної і тангенціальної складової поля, можна скористатися виразами [56] для складових напруженості поля уздовж осей  $y$  і  $z$ :

$$H_{2y} = \frac{\dot{I}}{\pi} \cdot \frac{h}{h^2 + y^2} \cdot \exp(\sqrt{i} \cdot k \cdot z), \quad (2.13)$$

$$H_{2z} = \sqrt{2}(1-i) \frac{\dot{I}}{k \cdot \pi} \cdot \frac{h}{(h^2 + y^2)^2} \cdot \exp(\sqrt{i} \cdot k \cdot z) \quad (2.14)$$

З виразів випливає, що напруженість магнітного поля, змінюючись за гармонійним законом, убуває в напрямку напівпростору 2 по

експоненціальному закону. При цьому складові магнітного поля мають співвідношення:

$$\left| \frac{(\dot{H}_{2y})_{\max}}{(\dot{H}_{2z})_{\max}} \right| = 1,5 \cdot k \cdot h \quad (2.15)$$

Для контрольованого зразка з феромагнітної сталі  $\mu \approx 100000 \text{ Гн/м}$ , електропровідність сталі на частоті  $f = 1 \text{ МГц}$   $\sigma = 10^7 \text{ См/м}$ , магнітна проникність вакууму [11]  $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ , звідки:

$$k = \sqrt{\omega \cdot \sigma \cdot \mu_0 \cdot \mu} = \sqrt{2 \cdot \pi \cdot f \cdot \sigma \cdot \mu_0 \cdot \mu} \approx 2809926 \quad (2.16)$$

Мінімальна відстань  $h$  обмежено діаметром проводу (з урахуванням ізоляції). Діаметр дроту обирається з урахуванням чинного струму. На цьому етапі розрахунку ще не відомо, який струм буде проходити через нитку. Однак, на підставі експериментальних робіт [4,16,62] можна прогнозувати значення струму 1-2 А. Діаметр проводу вибирається з умови

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot I_n}{\pi \cdot j_n}} \quad (2.17)$$

де  $I_n$  - діюче значення струму, що протікає через провід;  $j_n$  - допустима щільність струму через дріт (для мідного дроту і частоти  $f = 0,5 \text{ МГц}$ ,  $j_n = 3,4 \text{ А/мм}^2$  . Отже, току  $I_n = 2 \text{ А}$ , відповідає діаметр проводу  $d_n \approx 0,9 \text{ мм}$  (без урахування товщини ізоляції).

Таким чином, для приблизної оцінки вкладу нормальної і тангенціальної складової наведеного магнітного поля, можна вважати  $h = 0,001 \text{ м}$ . Отже:

$$\left| \frac{(\dot{H}_{2y})_{\max}}{(\dot{H}_{2z})_{\max}} \right| > 4000 \quad (2.18)$$

Дія пондеромоторної сили, викликані складовою магнітного поля  $\dot{H}_{2y}$ , направлено вглиб простору 2, нормально до його поверхні. складова поля  $\dot{H}_{2z}$  викликає силу, діючу по дотичній до поверхні простору. Однак дана складова дже мала в порівнянні з  $\dot{H}_{2y}$ .

Відношення глибини проникнення індукованого струму в напівпростір до довжини ультразвукової хвилі  $\lambda_c$  в металі, визначається виразом [4,56,62]:

$$\Delta = \frac{\delta}{\lambda_c} = \sqrt{\frac{4 \cdot f}{\pi \cdot c_c^2 \cdot \sigma \cdot \mu_0 \cdot \mu}}, \quad (2.19)$$

Де  $c_c$  - швидкість ультразвукової хвилі в сталі (відповідно до завдання на проектування 5500 м/с).

Для контрольованого зразка з наведеними раніше характеристиками,  $\Delta \approx 1,8 \cdot 10^{-4}$ . Отже, індукований струм можна вважати розподіленим в тонкому шарі металу (в порівнянні з довжиною ультразвукової хвилі).

Вираз, що описує закон розподілу тисків на поверхню півпростору 2 записується у вигляді [56]:

$$p = -\mu_0 \cdot \mu \frac{I_0^2 \cdot h^2}{4 \cdot \pi \cdot (h^2 + y^2)^2} (1 + \cos 2 \cdot \omega \cdot t) \quad (3.20)$$

Наведене співвідношення встановлює зв'язок між акустичним тиском на поверхню простору зі струмом нитки і її розташуванням. Максимальна акустичний тиск створюється безпосередньо під ниткою ( $y = 0$ ). При видаленні від цієї лінії і з збільшенням відстані  $h$  тиск різко падає. З ростом величини струму тиск зростає в квадраті. Змінюючись в часі, воно не змінює свого знака і змінюється від нуля до максимуму двічі за період живильного струму.

Відомо, що ефективність ЕМА перетворення підвищується при наявності зовнішнього (досить потужного) магнітного поля [69]. Це впливає з теорії феромагнетизму і пояснюється тим, що великий внесок в загасання УЗ коливань в феромагнетиках вносять втрати на вихрові струми, що виникають при переміщенні доменів. Зовнішнє магнітне поле призводить до впорядкування доменної структури і зменшує загасання ультразвуку. В цьому випадку магнітне поле струмів ( $B_{\approx}$ ) адитивно складається з зовнішнім постійним магнітним полем ( $B_{=}$ ):

$$B_{\Sigma} = B_{\approx} + B_{=} \quad (2.21)$$

Вираз, що описує закон розподілу тисків на поверхню півпростору 2 записується у вигляді [2,56,62]:

$$p = -\mu_0 \cdot \mu \frac{I_0^2 \cdot h^2}{4 \cdot \pi \cdot (h^2 + y^2)^2} (1 + \cos 2 \cdot \omega \cdot t) - \mu_0 \cdot \mu \frac{I_0 \cdot h \cdot H_{\text{н}}}{\pi \cdot (h^2 + y^2)} \cos \omega \cdot t \quad (2.22)$$

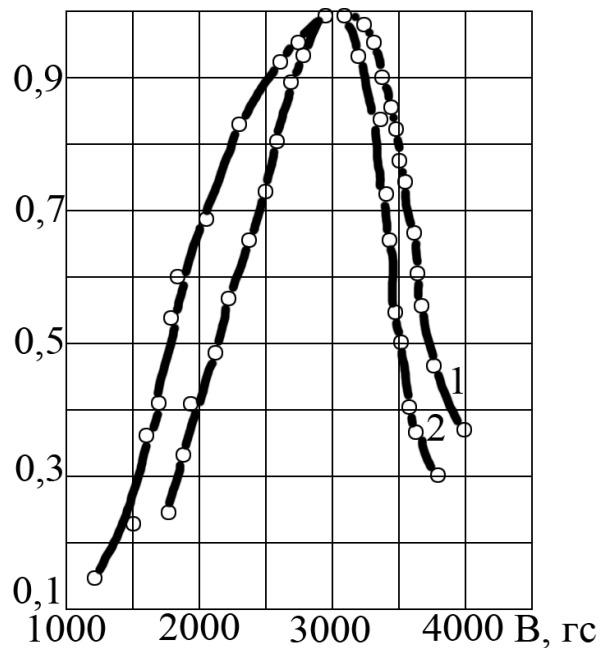
Де  $H_{\text{н}}$  - напруженість зовнішнього постійного магнітного поля.

Цей вираз буде використано для подальших розрахунків ЕМА датчика.

Для моделювання процесів необхідно задатися межами зміни величин, що входять в формулу, зокрема, максимальною амплітудою струму, відстанню від ниток решітки до поверхні контрольованого об'єкта, максимальним значенням зовнішнього магнітного поля.

Дослідники рекомендують «Для підвищення величини вихідного сигналу ЕМАП необхідно вибирати величини індукції в металі, амплітуди струму, числа витків і радіусу котушок перетворювача якомога більшими». На жаль, такі висновки виключають можливість проведення будь-яких оптимізаційних задач при виборі даних параметрів, і пропонують виходити, в першу чергу, з конструктивних (масогабаритних, енергетичних) обмежень.

Разом з тим, численні експериментальні дослідження процесів збудження і прийому нормальних хвиль ЕМА методом, проведені в Дніпропетровському трубопрокатному заводі, дозволили виявити оптимальне значення зовнішнього магнітного поля при контролі різних об'єктів (труб і листів) з феромагнітної сталі (рис. 2.7).



Мал. 2.7 Експериментально отримана залежність амплітуди сигналу при випромінюванні (1) і прийомі (2) УЗ коливань ЕМА методом від величини зовнішнього магнітного поля

Графік представлений у вигляді копії з оригіналу. В системі сІ значення магнітної індукції вимірюється в теслах [Тл], а не в гаусах, як представлено на графіку  $1 \text{ гс} = 10^{-4} \text{ Тл}$ .

Як видно з графіка, основні параметри, що визначають ЕМА перетворення, мають оптимальні характеристики при значенні індукції в контрольованому зразку  $B_{\perp} = 0,3 \text{ Тл}$ .

Відомо [11], що напруженість пов'язана з індукцією простою залежністю:

$$B_{\perp} = \mu_0 \cdot \mu \cdot H_{\perp} \quad (2.13)$$

Для ферромагнітних сталей  $\mu$  є величиною змінною, яка залежить від напруженості. З достатньою для практики точністю,  $H_{\perp}$  при відомому значенні  $B_{\perp}$  може бути знайдено з кривою початкового намагнічування матеріалу контролю.

З урахуванням виразу (2.13), і взаємозв'язку  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ , вираз, що описує закон розподілу тисків на поверхню півпростору 2 (3.12) приводиться до вигляду:

$$p = -\mu_0 \cdot \mu \frac{I_0^2 \cdot h^2}{4 \cdot \pi \cdot (h^2 + y^2)^2} (1 + \cos 4 \cdot \pi \cdot f \cdot t) - \frac{I_0 \cdot h \cdot B}{\pi \cdot (h^2 + y^2)} \cos 2 \cdot \pi \cdot f \cdot t \quad (2.14)$$

Для зручності, результати розрахунків представлені у вигляді графіків.

Щоб реалізувати гребінчастий метод збудження, необхідно використати ґрати з  $n$  - ниток, що розташовуються паралельно один одному повздовжньо до поверхні об'єкта контролю, на однаковій відстані від нього. За допомогою електромагніту створюється зовнішнє магнітне поле.

Ґрати, складені з ниток-випромінювачів мають розміщатися повздовжньо до рейок на ширину його активної частини. Очевидно, що тиск у кожній точці поверхні контрольованого простору під ґратами буде створюватися кожною ниткою-випромінювачем, з урахуванням відстані від розглянутої точки до центра кожного випромінювача, тобто [94] :

$$\dot{p}_{\Sigma}(x, y) = \sum_{m=1}^n \dot{p}_m(x, y), \quad (2.15)$$

де:  $\dot{p}_{\Sigma}(x, y)$  - сумарний тиск, створюваний ґратами на поверхні контрольованого простору в крапці з координатами  $(x, y)$ ;  $\dot{p}_m(x, y)$  - тиск, створюваний на поверхні контрольованого простору в крапці з координатами  $(x, y)$  випромінювачем  $m$ , де  $m = 1, 2 \dots n$ .

Очевидно, що середній тиск (повний тиск) на поверхню контрольованого об'єкта, обмежену площею ґрати можуть бути визначені з вираження:

$$p_{cp} = \int_0^{T_2} \int_0^{x_{\max}} \int_0^{y_{\max}} \dot{p}_{\Sigma}(x, y) dx \cdot dy \cdot dt. \quad (2.16)$$



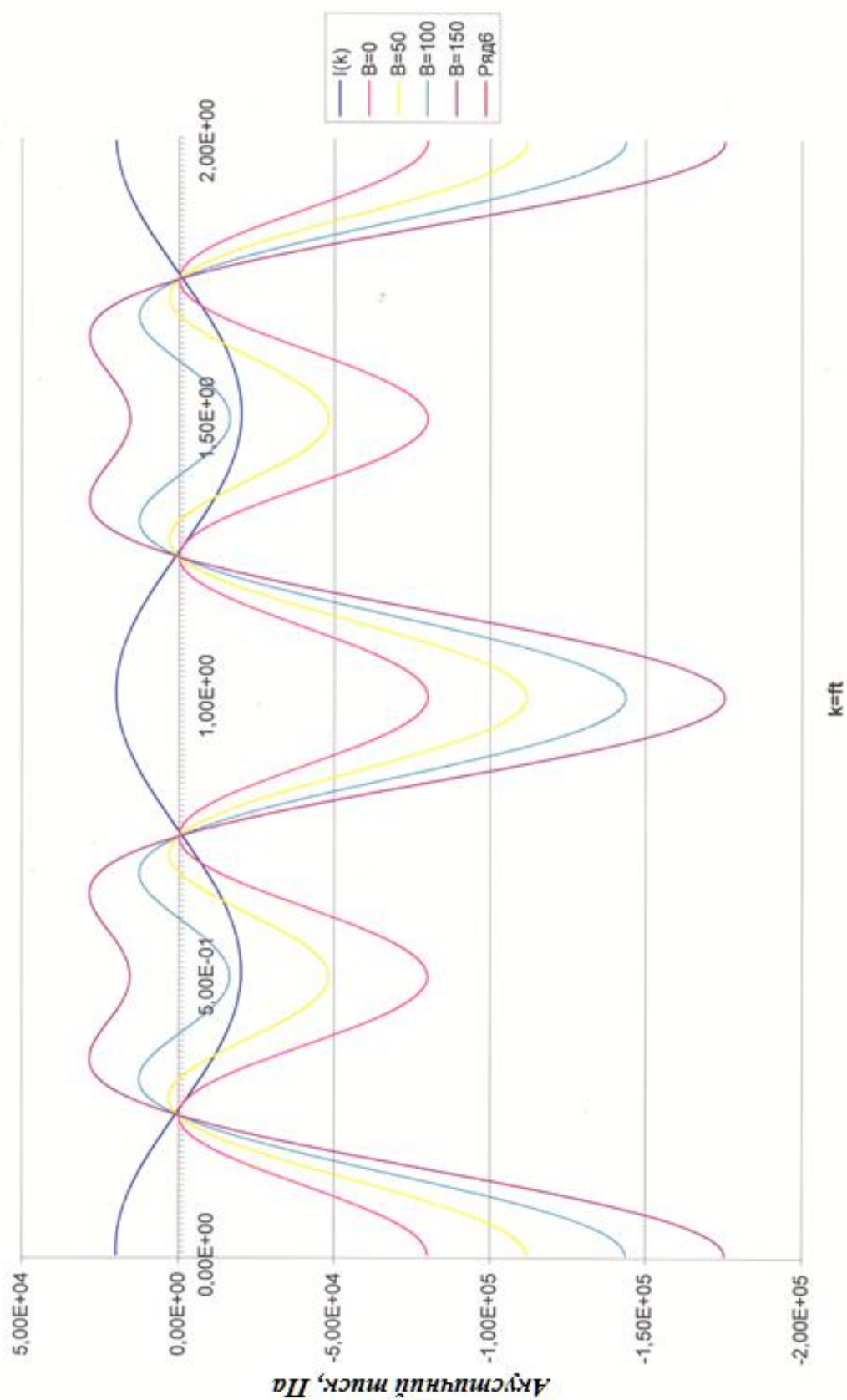


Рис. 2.8 сімейство залежностей  $p(t)$  при різних значеннях індукції  $B_=(y=0)$ ,  $I_0 = 2 \text{ A}$ ,  $h = 1 \text{ мм}$ ,  $f_i = 0,5 \text{ МГц}$

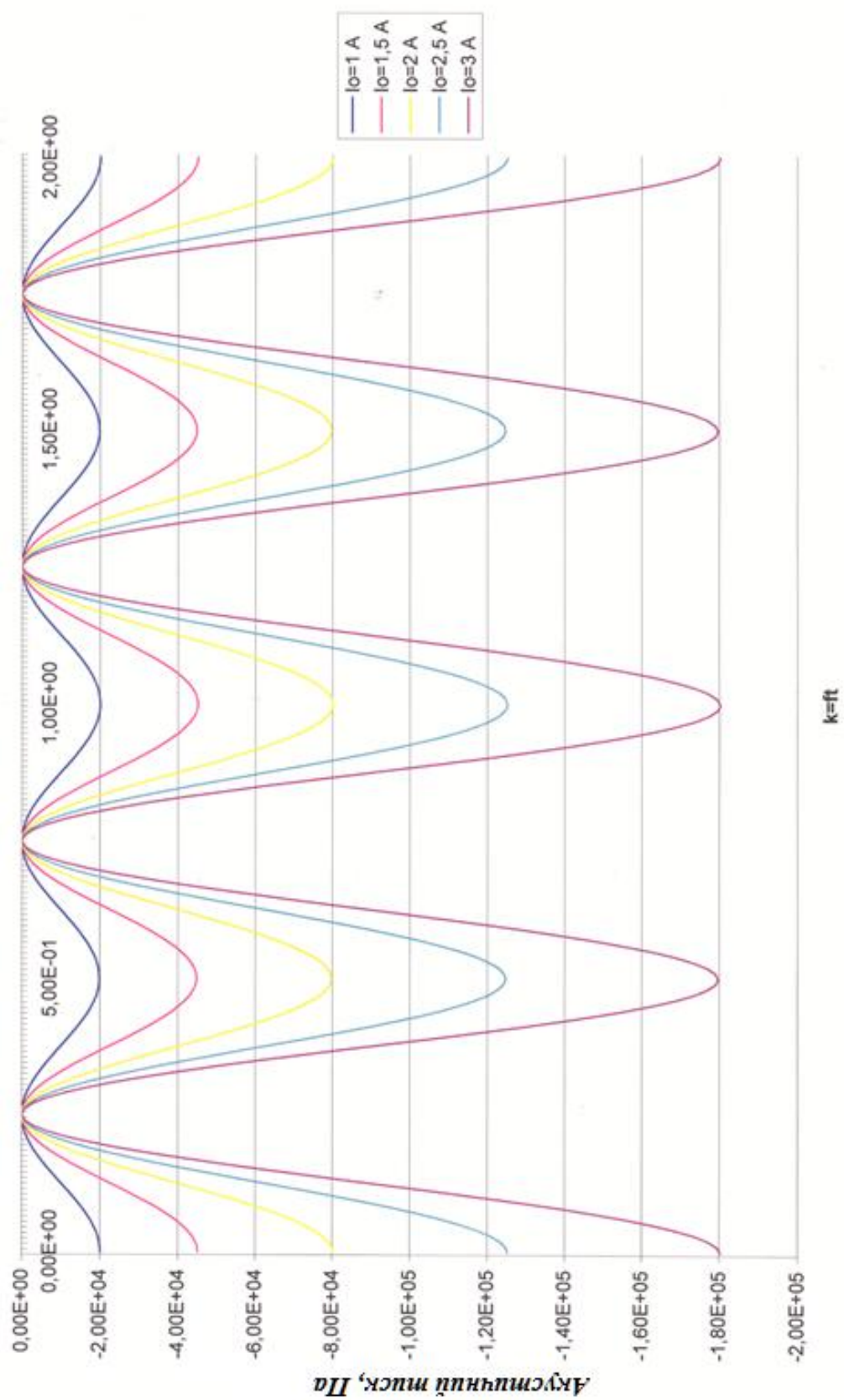


Рис. 2.9 сімейство залежностей  $p(t)$  при різних значеннях амплітуди струму  $I_0$ ,  $(y = 0)$ ,  $B_{\perp} = 0,3 \text{ Тл}$ ,  $h = 1 \text{ мм}$ ,  $f_i = 0,5 \text{ МГц}$

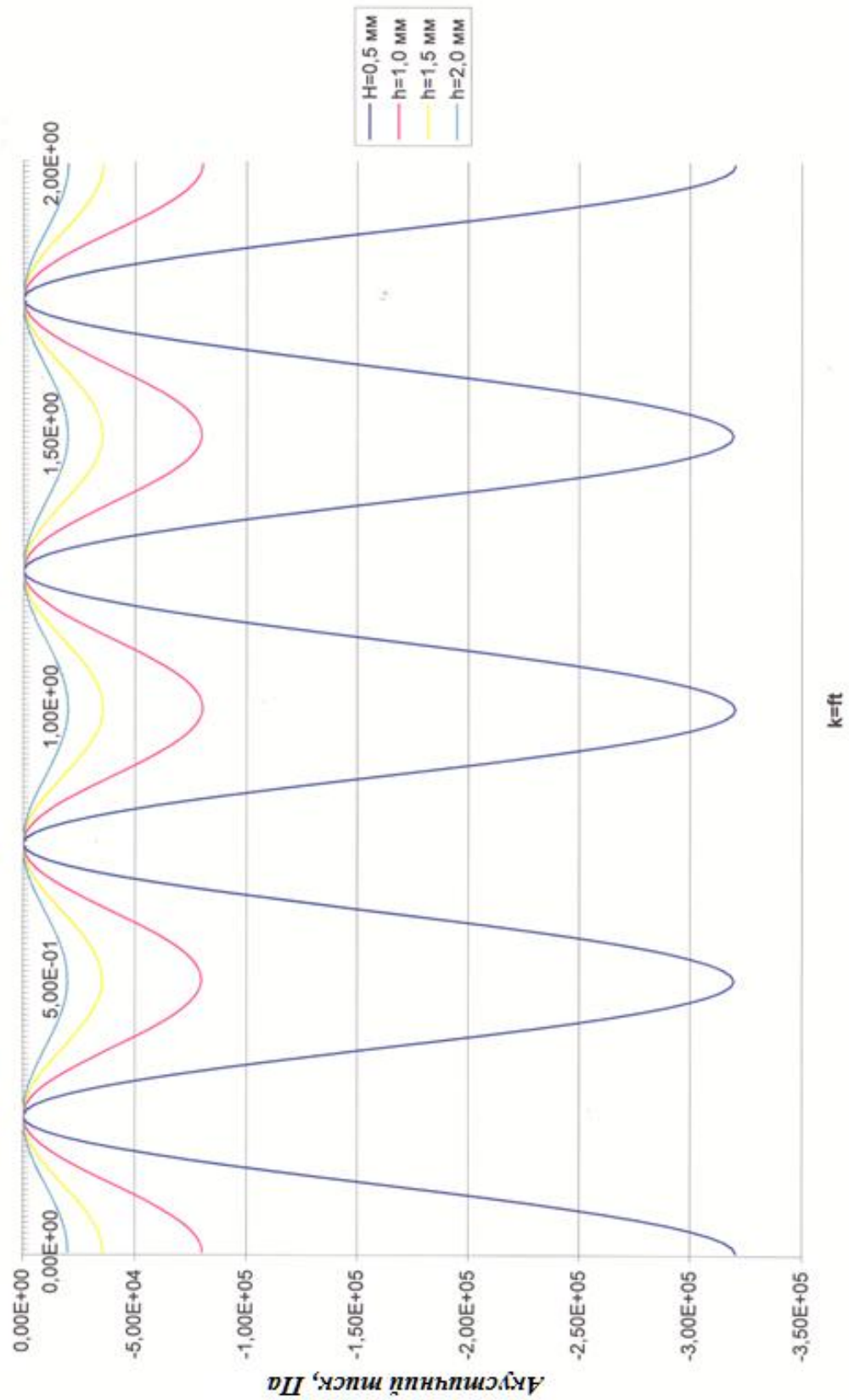


Рис.2.10 сімейство залежностей  $p(t)$  при різних значеннях

Відстані  $h$ ,  $(y = 0)$ ,  $B_{\perp} = 0,3 \text{ Тл}$ ,  $I_0 = 2 \text{ А}$ ,  $f_i = 0,5 \text{ МГц}$

## **Висновок за розділом 2**

1. Під час розгляду другого розділу було запропоновано спосіб заповнення підмуфтового простору муфт British Gaz, при контролюванні яких датчики контролю встановлюються на центруючі болти.

2. Розглянута можливість використання методу контролю, що базується на використанні ультразвукової хвилі для контролю якості заповнення підмуфтового простору муфти самотвердіючою речовиною. Також, розглянута можливість заповнення підмуфтового простору і компаундом, і розплавленим металом під час контролю монтажних робіт на магістральних трубопроводах.

3. Теоретично досліджений вплив різних факторів (величини сили струму, значення величини зовнішнього магнітного поля, відстані від випромінювача до поверхні об'єкта контролю). Також був проведений розрахунок акустичних тисків, створюваних випромінювачем на поверхні контрольованого об'єкта.

### РОЗДІЛ 3

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ БАГАТОШАРОВІХ МУФТОВИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВНУТРІШНІМ НАПОВНЕННЯМ НА ДІЮЧОМУ МАГІСТРАЛЬНОМУ ТРУБОПРОВОДІ

### 3.1. Експериментальна перевірка способу контролю якості заповнення підмуфтового простору за допомогою ультразвукового методу неруйнівного контролю

Для експериментальної перевірки способу контролю якості заповнення підмуфтового простору за допомогою ультразвукового методу неруйнівного контролю використовувався ультразвуковий дефектоскоп УД-4К [52]. Як об'єкт контролю використовувалася частини оболонки реальної муфти і труби.

Як матеріал для формування підмуфтового шару використовувався композитний матеріал на поліуретановій основі SZLAST і олово.

Результати експериментальної перевірки показані на фотографіях, представлених на рис. 3.1. і рис. 3.2.

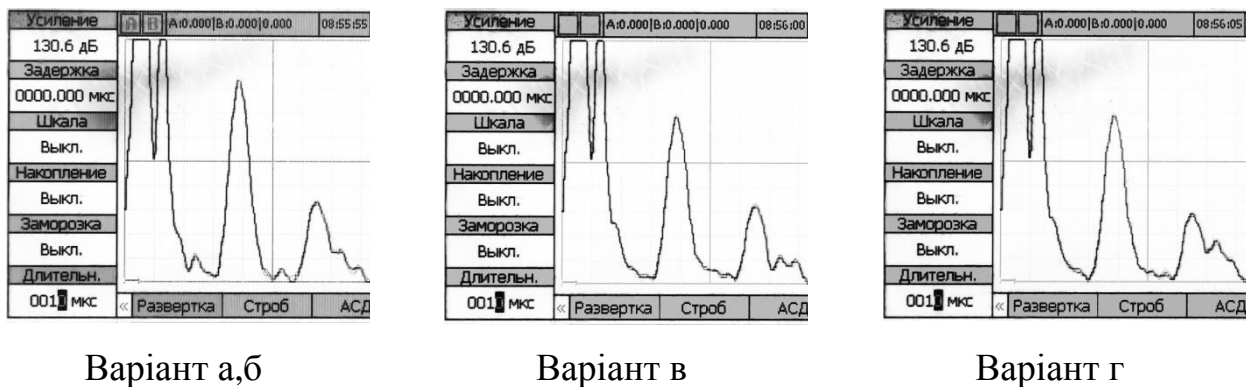
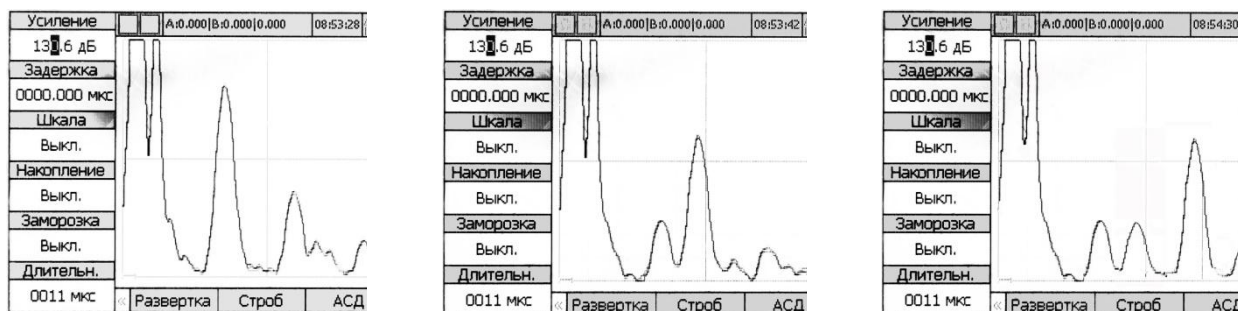


Рис. 3.1 Фотографії екрану дефектоскопа з луна-імпульсами при ультразвуковому зондуванні муфти з підмуфтовим простором, заповненим композитним речовиною SZLAST

Отримані дані дозволяють зробити висновок, що використання ультразвукового дефектоскопа УД-4К не дозволяє здійснити достовірний контроль якості заповнення підмуфтового простору компаундних речовиною на поліуретановій основі SZLAST через складність виділення луна-сигналів, що

несуть корисну інформацію від паразитних сигналів, що виникають при багаторазовому відбитті ультразвукової хвилі від поверхонь стін муфти. У той же час, аналіз ехосигналів, дає достовірну інформацію про стан підмуфтового шару з олова.



Варіант а,б

Варіант в

Варіант г

Рис. 3.2 Фотографії екрану дефектоскопа з луна-імпульсами при ультразвуковому зондуванні муфти з підмуфтовим простором, заповненим розплавленим оловом

### 3.2. Експериментальні дослідження можливості контролю якості формування підмуфтового шару розплавленим металом за допомогою ЕМА-методу неруйнівного контролю

Теорія розрахунку ЕМА перетворювачів, призначених для роботи з електропровідними матеріалами, досить повно розкрита в ряді робіт [15,16,26,27,56,68 та ін.]. Отримані в них вираження і залежності можуть бути покладені в основу практичного розрахунку ЕМА перетворювача для проведення експериментальних досліджень.

Для формування поздовжніх хвиль в габаритних об'єктах в [51,56] рекомендується використовувати схеми, представлені на рис. 3.3

Дана схема найбільш ефективна для контролю виробів з феромагнітних матеріалів. В цьому випадку збудження здійснюється за допомогою ниток-випромінювачів (решітки). В роботі [15], що містять експериментально отримані дані, показано, що діаграми спрямованості подібного ЕМА датчика поздовжніх хвиль і стандартного п'єзовипромінювача практично збігаються.

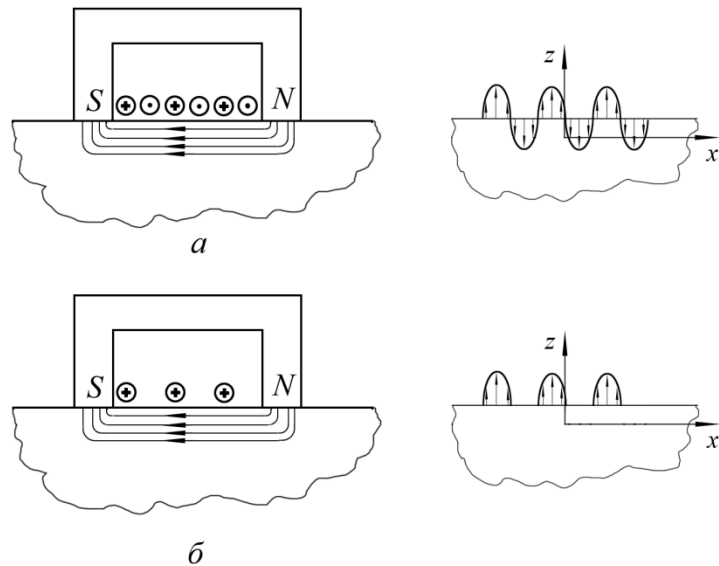


Рис. 3.3 схеми електромагнітно-акустичного збудження поздовжніх хвиль а - протифазні випромінювачі; б - синфазних випромінювачі

Дослідниками [17,51] були проведені дослідження ЕМА перетворювачів порушуючи періодичну решітку випромінювачів. Вказано, що ці порушення контрольованого об'єкту системою синфазних випромінювачів з кроком (відстанню між нитками-випромінювачами)  $l = \lambda$ ; порушуючи систему протифазних випромінювачів  $l = \frac{\lambda}{2}$ , де  $\lambda = \frac{c_c}{f}$  - довжина нормальної хвилі у спеціальній пряцюючій точці;  $c_c$  - фазова швидкість ультразвукової хвилі;  $f$  - робоча частота ультразвукового випромінювання. Показано, що найбільш ефективно дана схема побудови ЕМА може застосовуватися при контролі виробів з феромагнітних матеріалів.

Рядом дослідників [27,22,51] показано, що існує значення зовнішнього магнітного поля  $B_{\pm} = 0,3 T_l$ , яке є оптимальним для феромагнітних матеріалів як для збудження ультразвукових коливань, так і для їх прийому.

Зарубіжними дослідниками, які віддають перевагу експериментальному дослідженню ЕМА перетворювачів пропонується проводити виготовлення котушок збудження шляхом фотодруку, що виключає виникнення інтерференційних ефектів в хвилі.

У разі пропускання по нитці-випромінювачу (рис. 3.3) струму, що змінюється гармонійно на поверхні оболонки муфти відбудеться розподіл тисків, що описується виразом 3.4 [56]:

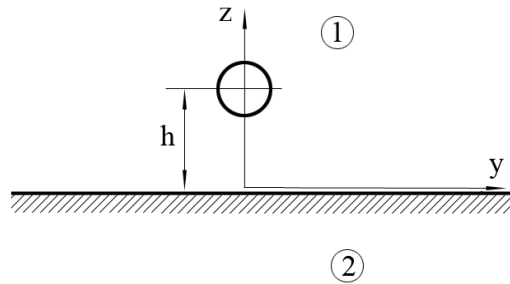


Рис. 3.4 Розташування нитки-випромінювача відносно оболонки муфти 2

$$p = -\mu_0 \cdot \mu \frac{I_0^2 \cdot h^2}{4 \cdot \pi \cdot (h^2 + y^2)^2} (1 + \cos 2 \cdot \omega \cdot t) \quad (3.1)$$

де:  $I_0$  - амплітудне значення струму нитки;  $\omega$  - кругова частота;  $f$  - частота струму в нитці 2.

Відомо, що ефективність ЕМА перетворення підвищується при наявності зовнішнього (досить потужного) магнітного поля [69]. Це впливає з теорії феромагнетизму і пояснюється тим, що великий внесок в загасання УЗ коливань в феромагнетиках вносять втрати на вихрові струми, що виникають при переміщенні доменів. Зовнішнє магнітне поле призводить до впорядкування доменної структури і зменшує загасання ультразвуку. В цьому випадку магнітне поле струмів адитивно складається з зовнішнім постійним магнітним полем:

$$B_{\Sigma} = B_{\approx} + B_{=} \quad (3.2)$$

Вираз, що описує закон розподілу тисків на поверхню муфти в цьому випадку записується у вигляді [56]:

$$p = -\mu_0 \cdot \mu \frac{I_0^2 \cdot h^2}{4 \cdot \pi \cdot (h^2 + y^2)^2} (1 + \cos 2 \cdot \omega \cdot t) - \mu_0 \cdot \mu \frac{I_0 \cdot h \cdot H_{=}}{\pi \cdot (h^2 + y^2)} \cos \omega \cdot t \quad (3.3)$$

де  $H_{=}$  - напруженість зовнішнього постійного магнітного поля.

З виразу 3.3 видно, що зовнішнє магнітне поле впливає на процес формування акустичної хвилі. Разом з тим, зовнішнє магнітне поле має вплив



на процес розподілення акустичної хвилі в контрольованому об'єкті, та змінюючи доменні структури речовини, змінюючи тим самим затухання ультразвуку. Крім того, параметри відбитої акустичної хвилі оцінюються за вихровими струмами, що виникають в результаті взаємодії силових ліній магнітного поля з хитаються частинками речовини. Отже, параметри магнітного поля визначають ефективність всього процесу контролю об'єкта ЕМА методом [22].

Численні експериментальні дослідження, проведені різними авторами, дозволяють зробити висновок, що для більшості феромагнітних сталей існує оптимальна напруженість зовнішнього магнітного поля, при якій ефективність неруйнівного контролю ЕМА методом буде максимальною. Наприклад, при контролі феромагнітних листів в роботі [27] визначено оптимальне значення магнітної індукції зовнішнього поля  $B_{\text{н}} = 0,3 \text{ Тл}$ .

Очевидно, що магнітна система ЕМА датчика, що розробляється для проведення експериментальних досліджень, повинна забезпечувати оперативне регулювання магнітної індукції в контрольованому об'єкті з метою вибору її оптимального значення.

У статті [50] зроблено аналіз відомих формувачів магнітного поля для ЕМА датчика з нитками-випромінювачами, показаних на рис. 3.5.

У схемах (а,б,в) оптимальне значення магнітної індукції задається за допомогою переміщення магніту щодо магнітоводів [41,47], в результаті чого змінюється загальна магнітна проникність сердечника. У схемі (г) значення магнітної індукції задається шляхом зміни МДс електромагніту. При цьому МДс може регулюватися дискретно, шляхом зміни числа витків котушки або плавно, шляхом зміни струму, що протікає в котушці. Число витків котушки може змінюватися за допомогою електронного комутатора, що підключається до джерела струму необхідну групу обмоток. В роботі [50] наведені графіки, що ілюструють роботу кожної схеми побудови формувача зовнішнього магнітного поля, отримані в результаті розрахунків з використанням програмного пакета Elcut [55].

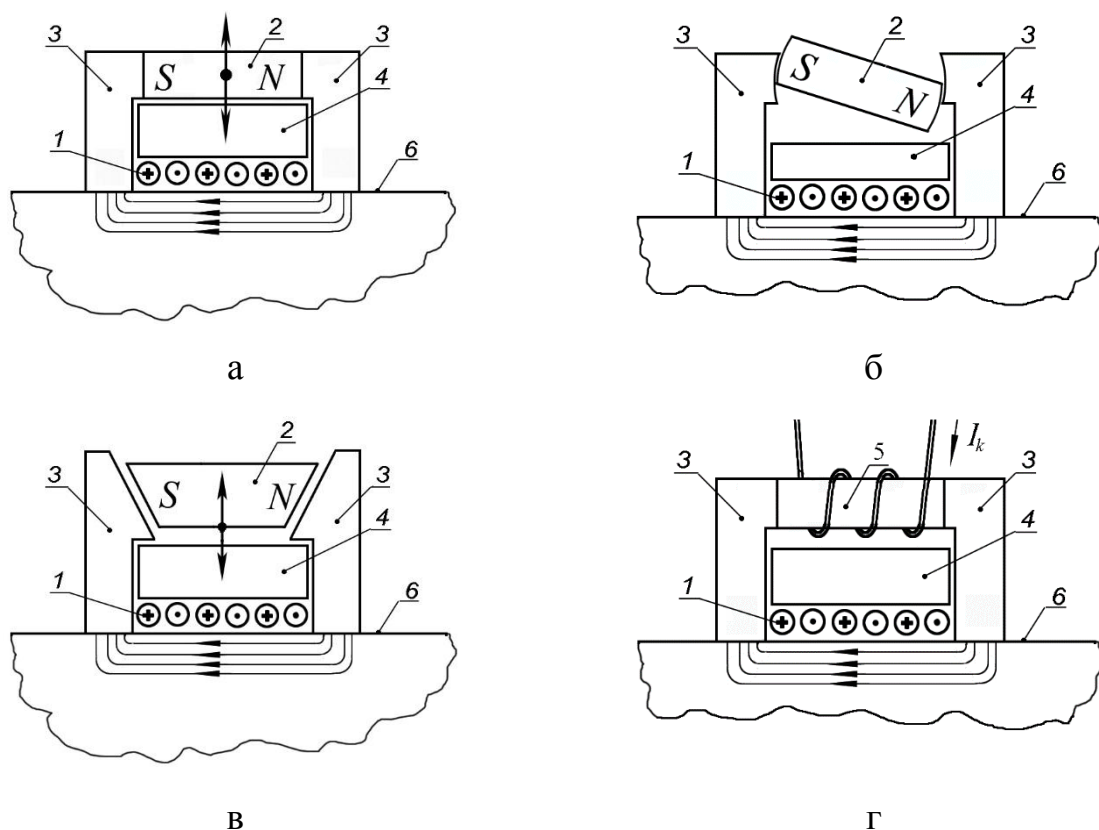


Рис.3.5 схеми формувачів зовнішнього магнітного поля

1 - нитки-випромінювачі, 2 - магніт, 3 - магнітопроводи, 4 - кріпильна вставка,

5 - електромагніт, 6 - поверхня муфти

Отримані залежності показують, що при наявності невеликого повітряного зазору, для створення оптимальної магнітної індукції потрібне застосування електромагніту з відносно великою МДс (200-300 аW), що призводить до підвищеного енергоспоживання. Використання імпульсного підмагнічування має обмеження через перехідні процесів. У зв'язку з цим, в ЕМА перетворювачі, що використовує гребінчастий спосіб збудження нормальних акустичних хвиль, для регулювання магнітної індукції більш доцільно використовувати схеми побудови з рухомим або обертовим магнітом.

Запропоновані конструкції датчиків забезпечують зміну величини магнітної індукції зовнішнього поля на поверхні контрольованого виробу в широких межах. Разом з тим, при проведенні вимірювань в умовах значних зовнішніх полів, напрямок результуючого вектора магнітної індукції поля на

поверхні контрольованого об'єкта може не збігатися з напрямком вектора магнітної індукції поля, що формується вузлом підмагнічування. Конструкція вузла підмагнічування в розглянутих конструкціях не дозволяє змінювати значення магнітної індукції поздовжнього поля. Наявність некомпенсованої поздовжньої складової поля може привести до непостійності результатів вимірювання одного і того ж об'єкту, що знаходиться в різних умовах впливу зовнішніх магнітних полів. У зв'язку з цим, для контролю заповнення підмуфтового простору розплавленим металом, пропонується нова конструкція ЕМА перетворювача, позбавлена цих недоліків [35,38].

ЕМА перетворювач складається з вузла підмагнічування і випромінювача. Випромінювач являє собою решітку, що складається з декількох розташованих в одній площині паралельно один одному провідників (ниток-випромінювачів). Решітка розташована між полюсами вузла намагнічування, в безпосередній близькості від поверхні контрольованого виробу, паралельно їй. Нитки-випромінювачі повинні розташовуватися один від одного на відстані  $l$ , пропорційно  $\lambda$  - довжині нормальної акустичної хвилі, що порушується ЕМА перетворювачем. Тобто,  $l = \lambda/n$ ,  $n = 1, 2, \dots k$  де  $k$  - ціле число. У більшості випадків практичного застосування перетворювачів,  $n = 1$  або  $n = 2$ . При контролі виробів з феромагнітних матеріалів може бути використана високочастотна решітка з  $n = 6$  [16].

Вузол підмагнічування складається з чотирьох магнітоводів, встановлених перпендикулярно поверхні контрольованого виробу, навколо випромінювача. При цьому полюса двох магнітопроводів розташовані паралельно ниткам, а двох інших (додаткових) - перпендикулярно ниткам решітки. Верхні торці магнітоводів спрямовані до центру магніту. Магніт, розташований між верхніми торцями магнітоводів, виконаний у вигляді паралелепіпеда з закругленими краями. При цьому забезпечено можливість обертання магніту навколо своєї точки симетрії.

Для зручності практичної експлуатації, магніт поміщений всередину кулі з діамагнітного матеріалу, як приклад, запресовуванням.

Магнітоводи, випромінювач і куля магніту зафіксовані одинодо одного за використанням прямокутного бруска, що виготовляється з діелектричного матеріалу. При цьому випромінювач з'єднаний з нижньою стороною бруска, до бокових сторін якого приєднуються внутрішні сторони магнітоводів. На верхній стороні діелектричного бруска зроблена сферична виїмка.

Для зручності, куля може бути забезпечена ручкою, а на поверхні кулі нанесена координатна сітка.

Робота запропонованого ЕМА перетворювача полягає в наступних кроках. Для проведення проведення перевірки, ЕМА перетворювач встановлюють на поверхню контрольованого об'єкту. При цьому випромінювач розміщують близько від поверхні. За допомогою вузла підмагнічування в верхньому шарі виробу, що контролюється створюється постійне магнітне поле. Необхідні параметри магнітного поля отримуються, за допомогою обертання магніту відносно точки його симетрії. При обертанні магніту буде відбуватися зміна значень магнітної індукції зовнішнього поля на поверхні контрольованого виробу. У певному розташуванні магніту, буде забезпечуватись максимальна компенсація поздовжньої складової зовнішнього магнітного поля, при заданому значенні магнітної індукції поперечної складової. Після цих дій на нитки випромінювача подається електричний сигнал, після чого в поверхневому шарі об'єкта контролю індукуються вихрові струми. Взаємодія первинного і наведеного струмів призводить до появи тисків, що змінюються з ультразвуковою частотою. Ультразвукові коливання, в свою чергу, створюють в металі просторово-періодичне поле, під впливом якого частки середовища роблять коливання. При перетині частинок силових ліній магнітного поля, в поверхневому шарі металу виникають вихрові струми, які фіксуються приймаючою частиною системи неруйнівного контролю.

Конструкція запропонованого ЕМА перетворювача пояснюється рис.3.6. До певних недоліків запропонованої конструкції слід віднести її відносну громіздкість. Габарити датчика можуть бути істотно зменшені шляхом

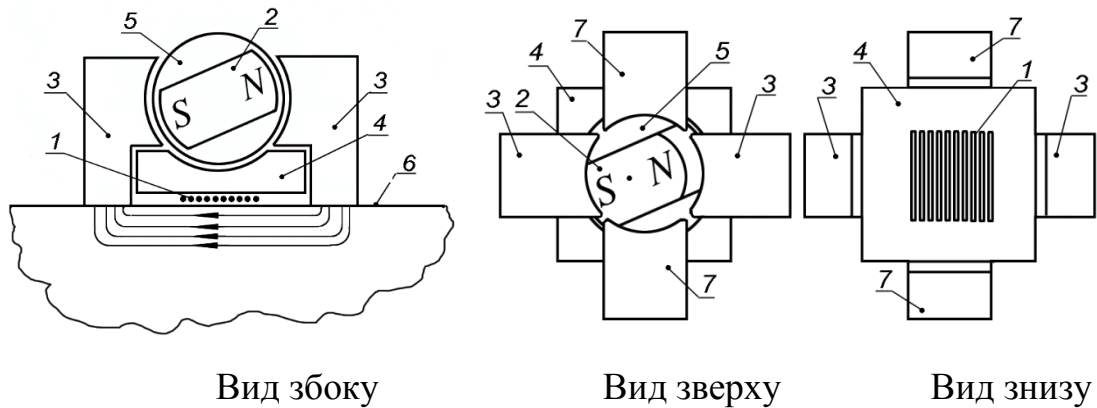
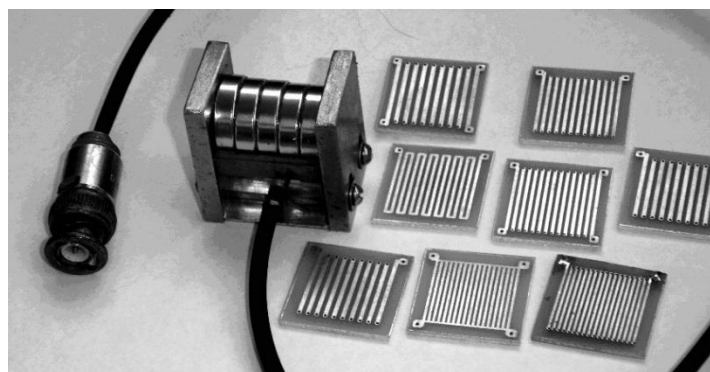


Рис.3.6 Конструкція ЕМА датчика контролю якості формування подмуфтового шару 1 - випромінювач, 2 - магніт, 3 - магнітосходи, 4 - кріпильна вставка, 5 - куля, 6 - муфта, 7 - додаткові магнітосходи

Не дивлячись на явні переваги розробленої конструкції, вона є досить складною для практичного виготовлення та використання при проведенні експериментальних досліджень. У зв'язку з цим в основу побудови ЕМА датчика макета буде покладена схема (а) рис.3.5, що відрізняється простотою конструкції.

В якості випромінювача застосована гребінчаста схема побудови, нитки якої виготовлені, для запобігання виникнення інтерференційних ефектів в хвилі, шляхом фотодруку.

Конструкція ЕМА датчика діючого макету показана на рис.3.7. Магнітосходи датчика виготовлені з феромагнітної сталі. Для формування магнітного поля використані потужні неодимові магніти (неодим-залізо-бор NdFeB) [2,31].



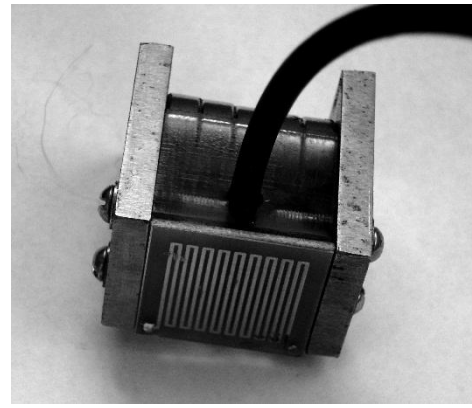
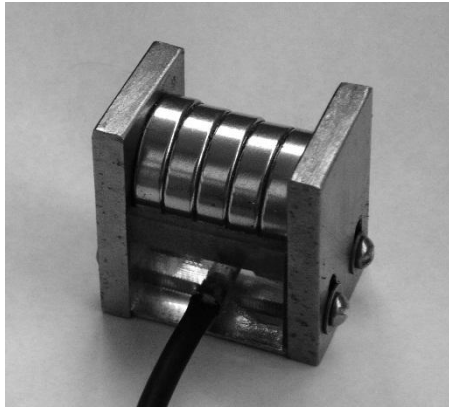


Рис. 3.7 Конструкція ЕМА датчика діючого макету

При проведенні експериментальних досліджень планується здійснювати управління ЕМА-датчиком і проводити реєстрацію і аналіз одержуваного з нього сигналу за допомогою ультразвукового дефектоскопа УД-4К. Пристрій для формування зондувальних імпульсів в даному дефектоскопі не розрахований на збудження датчиків такого виду, у зв'язку з чим виникає задача розробки і виготовлення спеціалізованого формувача імпульсів зондування, синхронізуються від дефектоскопа УД-4К.

Аналіз відомих схем збудження ЕМА датчиків з гребінчастим нитками-випромінювачами показав, що найбільш перспективним можна вважати застосування DDS (Direct Digital Synthesizers) - цифрові синтезатори частот, що керуються мікро контролером. Дані синтезатори серійно випускаються декількома фірмами, проте, безсумнівним лідером на ринку є компанія Analog Devices. Параметри що випускаються даною компанією синтезаторів дозволяють побудувати ефективні формувачі імпульсів зондування практично будь-якої форми. Наприклад, при частоті тактового генератора 125 МГц (для AD9850), на виході мікросхеми можна сформувати гармонійний сигнал від 0 до 62,5 МГц з кроком близько 0,03 Гц.

Незважаючи на явні переваги, синтезатори DDS мають ряд недоліків, що обмежують їх застосування в схемах формування зондувальних імпульсів. Перш за все, це наявність побічних сигналів, рівень яких залежить від тактової й вихідної частот (і їх співвідношення), і в смузі 0-100 МГц може мати значення -50 ... - 80 дБ. При вихідній частоті більше 1/3 від частоти тактового генератора

їх рівень різко збільшується. Крім того, в даний час, поставка синтезаторів AD9959 займає багато часу в Україні офіційними дилерами. синтезатори передбачають наявність спеціалізованих програматорів, що ускладнює їх практичне використання і швидке впровадження.

Розроблений спосіб [37,40,62,64] заснований на симетричності елементів колоподібного сигналу в межах періоду щодо осей абсцис і ординат. Маючи інформацію про зміну сигналу в межах  $\left[0 \dots \frac{\pi}{2}\right]$ , можна отримати його зміна в межах  $\left[\frac{\pi}{2} \dots \pi\right]$  (відобразивши його щодо осі ординат), а також в межах  $\left[\pi \dots \frac{3}{2}\pi\right]$  і  $\left[\frac{3}{2}\pi \dots 2\pi\right]$  (при відображенні сигналу за напівперіод щодо осі абсцис) [49].

спосіб здійснюється наступним чином [51,166]. На початковому етапі формують послідовність імпульсів, наступних з частотою:

$$f_H = \frac{4 \cdot (N-1)}{T_3} \quad (3.4)$$

Імпульси подаються на лічильник. При виконанні умови (3.6), лічильник в активному режимі буде повністю заповнюватися за час, що дорівнює чверті періоду імпульсу зондування. При цьому значення числа, записаного в лічильнику, постійно перетворюється в аналоговий сигнал (зокрема, струм) відповідно до залежності:

$$I(i) = I_m \left( 1 - \cos \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{i}{N} \right) \right) \quad (3.5)$$

де  $I_m$  - амплітудне значення аналогового сигналу на вході випромінювача ЕМА перетворювача,  $i$  - число, записане в лічильнику.

Цикл формування імпульсів зондування починають з обнулення лічильника. У міру надходження імпульсів до повного заповнення всіх розрядів лічильника, що відповідає зміні імпульсу зондування в межах  $\left[0 \dots \frac{\pi}{2}\right]$ , аналоговий сигнал формують відповідно до залежності:

$$I_l(i) = I(i) \quad (3.6)$$

далі, після заповнення лічильника, його переводять в реверсивний режим, в результаті чого число, записане в лічильнику, починає зменшуватися від

максимального до мінімального значення, що відповідає зміні імпульсу зондування в межах  $\left[\frac{\pi}{2} \dots \pi\right]$ . Після обнулення лічильника, його знову переводять в режим прямого підрахунку імпульсів. Процес заповнення лічильника на даному етапі відповідає зміні імпульсу зондування в межах  $\left[\pi \dots \frac{3}{2}\pi\right]$ . Аналоговий сигнал на другому та третьому етапах формують відповідно залежностям:

$$I_{II}(i) = 2 \cdot I_m - I(i) \quad (3.7)$$

$$I_{III}(i) = 2 \cdot I_m - I(i) \quad (3.8)$$

На четвертому етапі, що полягає в зміні імпульсу зондування в межах  $\left[\frac{3}{2}\pi \dots 2\pi\right]$ , лічильник знову переводять в реверсивний режим, і, до обнулення, формують аналоговий сигнал відповідно до залежності:

$$I_{IV}(i) = I(i) \quad (3.9)$$

При необхідності формування послідовності імпульсів зондування, цикли повторюють необхідне число раз.

спосіб пояснюється циклограми, наведеної на рис. 3.8.

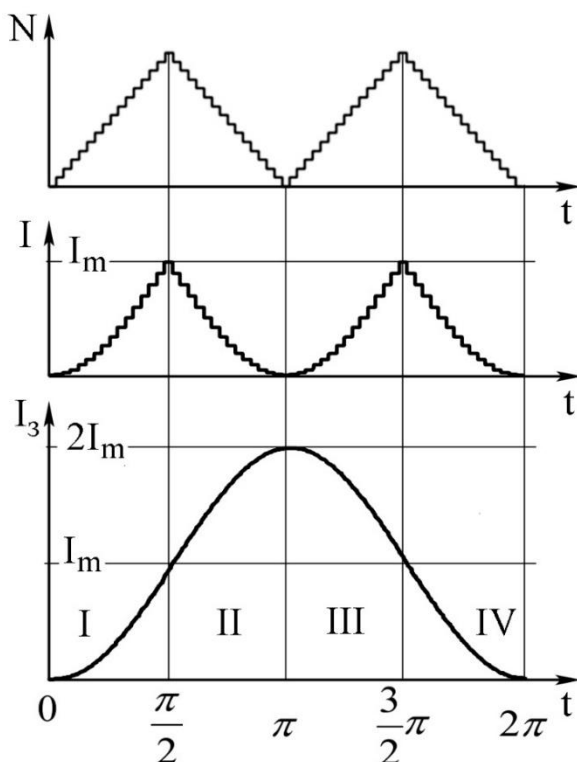


Рис. 3.8 Циклограма формування імпульсу зондування



Де:  $i$  - число, записане в лічильнику;  $I(i)$  - функція перетворення числа  $i$  в аналоговий сигнал;  $I_3(i)$  - аналоговий сигнал на вході випромінювача ЕМА перетворювача (імпульс зондування),  $I, II, III, IV$  - етапи формування аналогового сигналу.

Робота формувача імпульсів зондування для ЕМА перетворювача, що здійснює запропонований спосіб, проілюстрована рис.3.9-рис.3.10.

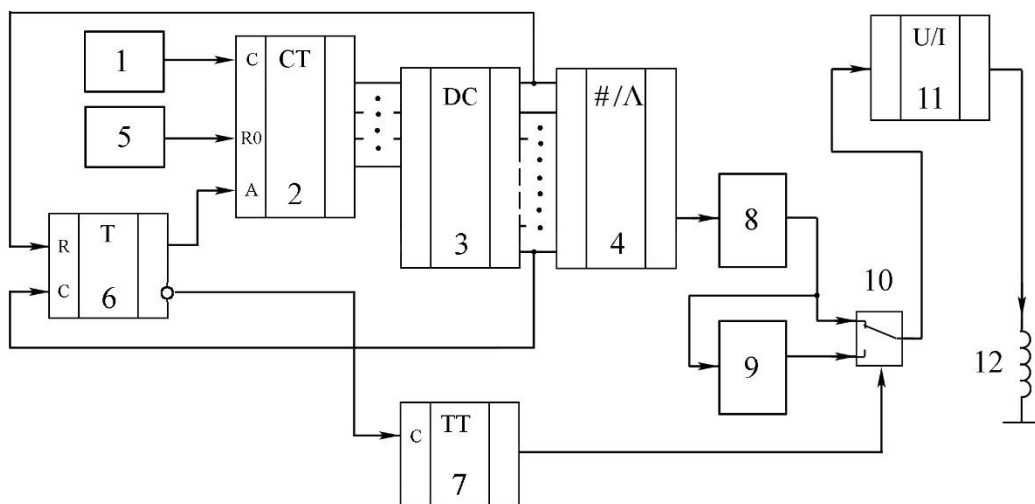


Рис. 3.9 Функціональна схема формувача

1 - генератор імпульсів, 2 - реверсивний лічильник, 3 - дешифратор, 4 - функціональний цифровий перетворювач, 5 - пристрій управління, 6 - тригер, 7 - рахунковий - тригер, 8 - схема масштабування, 9 - додаткова схема масштабування, 10 - аналоговий комутатор, 11 - перетворювач напруга-струм, 12 - випромінювач ЕМА перетворювача

Робота формувача імпульсів зондування для ЕМА перетворювача полягає в наступному [51]. За допомогою пристрою управління 5 на вхід реверсивного лічильника 2 подають імпульс скидання, за яким лічильник 2 обнуляється. Від генератора 1 на вхід реверсивного лічильника 2 надходять імпульси, що впливають із певною частотою. На першому виході дешифратора 3, відповідного нульового числа на виходах лічильника 2 формується логічний сигнал, що надходить на вхід - тригер 6 і переводить сигнал на його прямому виході і, відповідно на вході лічильника 2 в стан, що дозволяє прямий

підрахунок імпульсів. У міру збільшення числа, записаного в лічильнику 2, змінюються активні виходи дешифратора 3, а на виході схеми масштабування 8 з'являється сигнал відповідно до залежності:

$$U_8(i) = U_m \left( 1 - \cos \left( \frac{\pi}{2} \cdot \frac{i}{N} \right) \right) \quad (3.10)$$

де  $U_m$  - амплітудне значення напруги на виході схеми масштабування 8,  $U_m$  - число, записане в лічильнику 2.

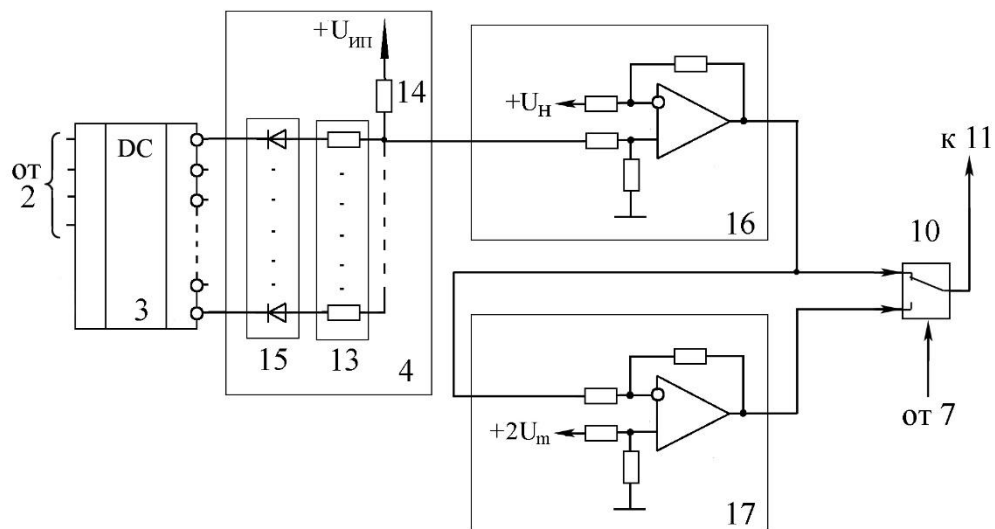


Рис. 3.10 Функціональна схема варіанту виконання функціонального цифрового перетворювача і схем масштабування

13 - резистори матриці, 14 - додатковий резистор, 15 - діоди, 16 - диференційний підсилювач, що представляє схему масштабування, 17 - диференційний підсилювач, що представляє додаткову схему масштабування

Під час першого прямого заповнення лічильника 2 сигнал на виході тригера 7 утримує перемикач аналогового комутатора 10 у верхньому по схемі (рис. 3.9) положенні. Отже, на вході перетворювача напруга-струм 11 буде формуватися сигнал, зміна якого описуватися залежністю (3.11).

Після заповнення лічильника 2, активізується вихід дешифратора 3, який відповідає максимальному числу. Логічний сигнал з цього виходу надходить на вхід-тригер 6 і переводить сигнал на його прямому виході і, відповідно на вході лічильника 2 в стан, що дозволяє зворотний підрахунок імпульсів. Одночасно з

цим, рахунковий - тригер 7, що працює по фронту вхідного сигналу, переводить перемикач аналогового комутатора 10 в нижнє за схемою (рис. 3.9) становище. Додаткова схема масштабування 9 налаштована таким чином, щоб напруга на її виході визначалася залежністю:

$$U_9(i) = 2 \cdot U_m - U_8(i) \quad (3.11)$$

Отже, напруга на вході перетворювача напруга-струм 11 на даному етапі формування буде визначатися виразом (4.11), а струм на його виході - виразом (4.1.23). Після обнулення лічильника, за сигналом, що йде з дешифратора 3,  $R-S$ -тригер 6 знову змінює напрямок рахунку, однак зміна його стану не призводить до зміни стану на виході працюючого по фронту вхідного сигналу рахункового  $T$  - тригера 7. В результаті цього, перемикач аналогового комутатора залишається в нижньому за схемою (рис. 3.9) положенні, а струм на виході перетворювача напруга-струм 11 визначається залежністю (3.6).

Після заповнення лічильника 2 і чергової зміни напрямку рахунку, рахунковий  $T$  - тригера 7 змінить стан на свій вихід, перевівши перемикач аналогового комутатора 11 у верхнє за схемою (рис. 3.10) становище, в результаті чого, струм на виході перетворювача напруга-струм 11 на останньому етапі формування імпульсу зондування, почне визначатися виразом (3.7).

Для зниження «ступінчастості» формованого сигналу, додатково використовують смуговий фільтр, який включають після схеми масштабування або після аналогового комутатора.

Функціональний цифро-аналоговий перетворювач 4 може бути побудований на основі резисторної матриці (рис.3.10). В цьому випадку в схемі використовують дешифратор з інверсними виходами, підключеними через діоди до входів відповідних резисторів матриці. З'єднані виходи резисторної матриці об'єднані через додатковий резистор з джерелом позитивної напруги, при цьому діоди з резисторами матриці з'єднані анодами. Опору резисторів

матриці вибирають з умови  $\frac{R_k}{R_d} = \frac{U_d - U_H - \zeta(k)}{\zeta(k) + U_H - U_{ин}}$ , де  $R_d$  - опір додаткового резистора,  $U_d$  - пряме падіння напруги на внутрішніх вихідних ланцюгах активного виходу дешифратора і діод,  $U_H$  - мінімальна напруга на виходах резисторної матриці,  $\zeta(k)$  - напруга на виході джерела позитивної напруги,  $\zeta(k) = U_m \left( 1 - \cos\left(\frac{\pi \cdot k}{2 \cdot N}\right) \right)$ , де  $k=i$  - номер резистора матриці, підключеного до виходу дешифратора, відповідному числу  $i$  на виходах реверсивного лічильника,  $U_m$  - максимальне значення напруги на виходах резисторної матриці.

Напруга на виході функціонального аналого-цифрового перетворювача, в цьому випадку, змінюється за рахунок того, що до загального проведення в конкретний момент часу виявляється підключений тільки один резистор матриці 13. Діоди 15 необхідні для зниження впливу на вихідну напругу сигналів високого логічного рівня, які присутні на неактивних виходах дешифратора. Очевидно, що в цьому випадку, напруга на об'єднаних виходах резисторів матриці 13, не може бути нижче деякого мінімального значення, що визначається падінням напруги на відкритих  $p-n$  - переходах вихідних ланцюгів дешифратора 3 і діода 15. Даний початковий рівень,  $U_H$  може бути легко врахований в схемі масштабування 8. Для цього, схеми масштабування можуть являти собою диференціальні підсилювачі 16 і 17.

Розроблений спосіб формування полоподібних імпульсів зондування був покладений в основу виготовленого для проведення експериментальних досліджень діючого макету формувача, функціональна схема якого представлена на рис. 3.13.

При проектуванні діючого макету ЕМА пристрої, передбачені питання його синхронізації від ультразвукового дефектоскопа УД-4К, питання комутації датчика і попереднього посилення знімається з ЕМА датчика сигналу.

Зовнішній вигляд монтажної плати формувача з встановленими елементами і конструкція макета показані на рис. 3.13 - рис. 3.14.

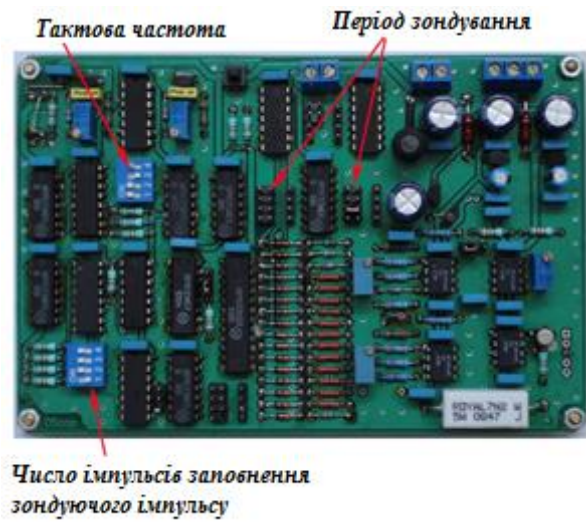


Рис. 3.11 Зовнішній вигляд монтажної плати формувача

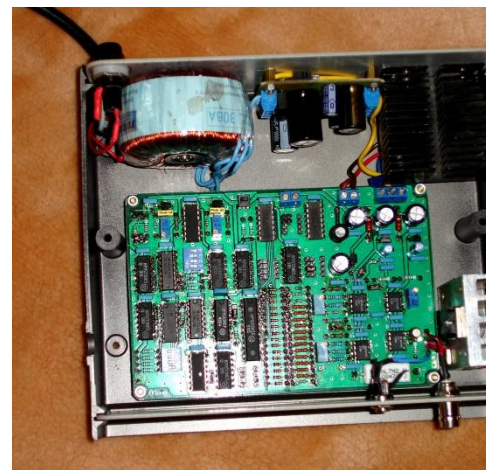
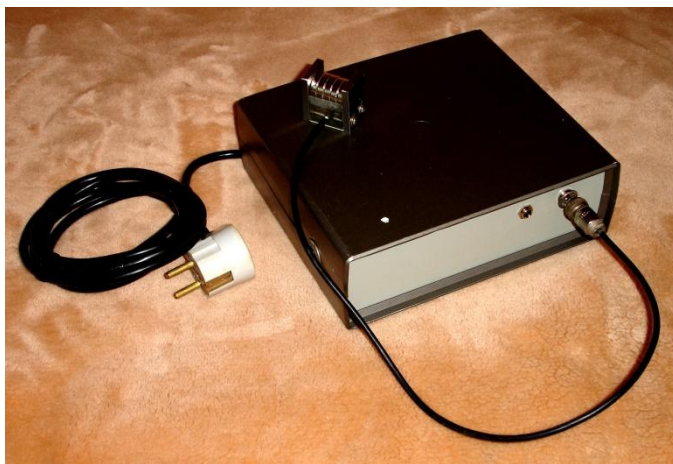


Рис. 3.12 Конструкція формувачів імпульсів зондування макет

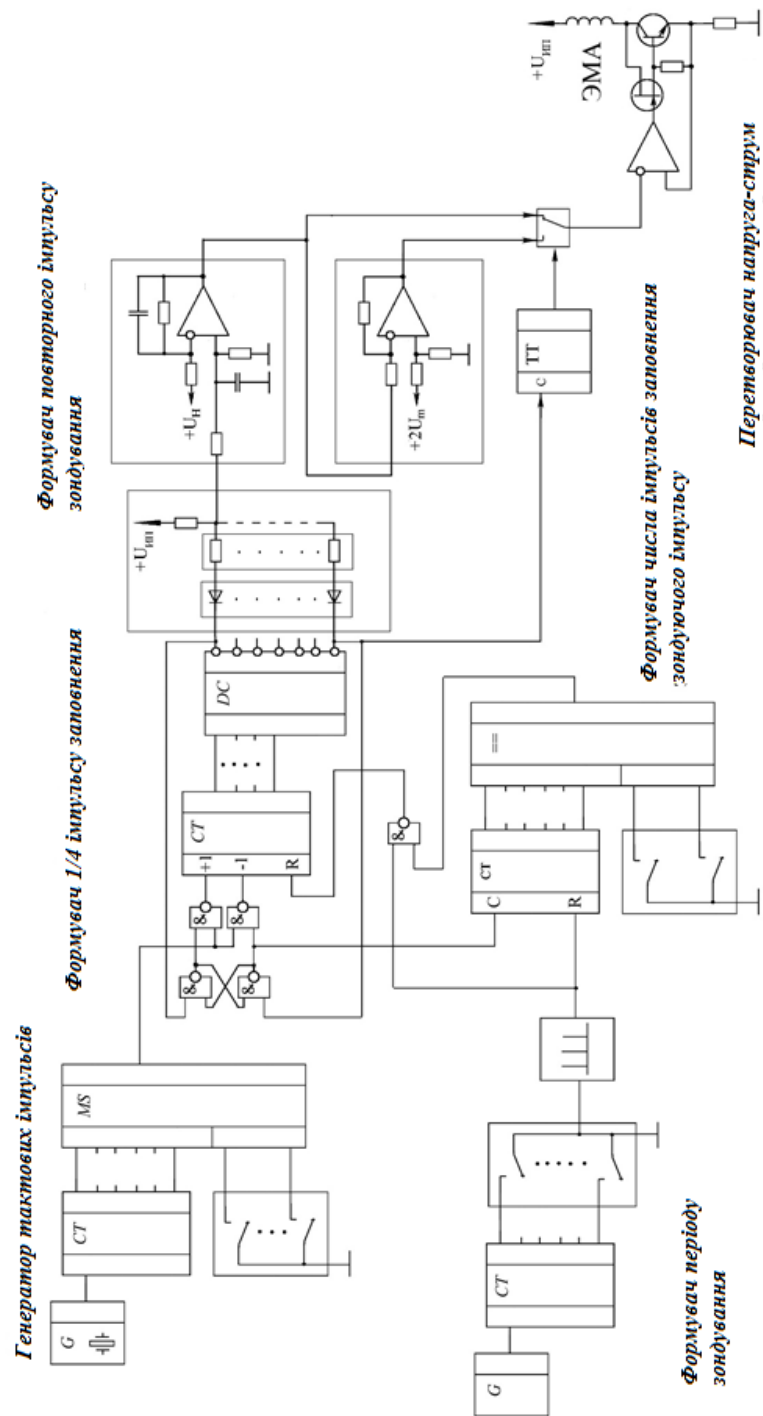
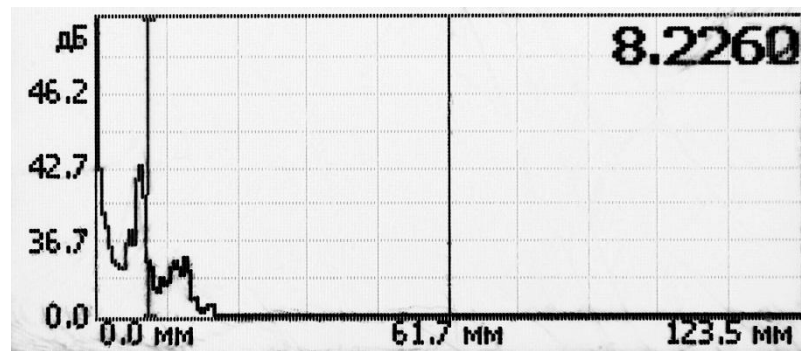
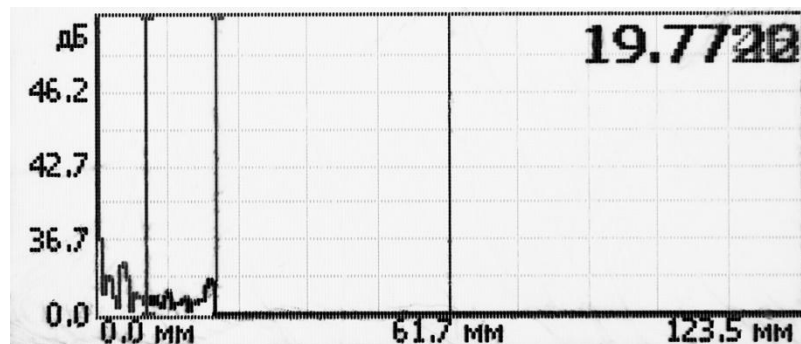


Рис. 4.13

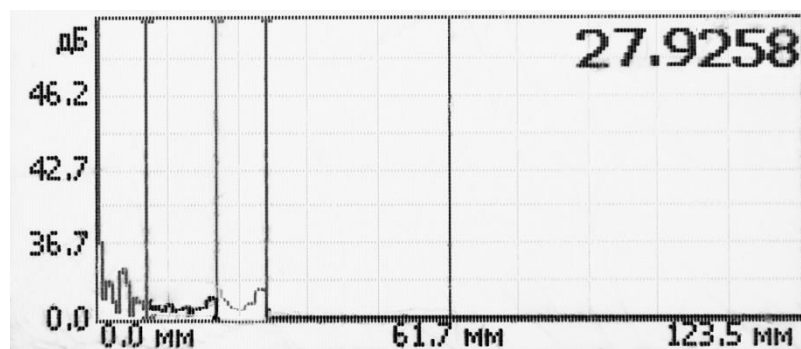
Вимірювання проводились після переведення дефектоскопа в режим «толщиномер». Результати вимірювань проілюстровані на рис. 3.15 -3.17.



Варіант (а) - відсутність заповнення підмуфтового простору



Варіант (в) - олово наплавлено на внутрішню поверхню муфти,  
контакт з посилюваною трубою відсутній



Варіант (г) - олово заповнило підмуфтовий простір,  
хороший акустичний контакт з трубою і муфтою

### **Висновок за розділом 3**

1. Було експериментально досліджено можливість використання розплавленого матеріалу для заповнення підмуфтового простору, ефективно застосовувати ЕМА-товщинометрію. Також, було розроблено та виготовлено діючий манкт ЕМА-перетворювача.

2. Було експериментально підтверджено, що для контролю якості формування підмуфтового простору, ефективно застосовувати ЕМА-товщинометрію.

3. Проведено експериментальні дослідження формування акустичної хвилі ЕМА перетворювачем, експериментально досліджений вплив різних факторів (величини сили струму, значення величини зовнішнього магнітного поля, відстані від випромінювача до поверхні об'єкта контролю).

4. Отримані експериментальні залежності зміни вихідного сигналу від розміру відстані між випромінювачем і поверхнею об'єкта контролю й значенням сили струму через випромінювач.



## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

#### «ВДОСКОНАЛЕНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮВАННЯ ЗАПОВНЕННЯ ПІДМУФТОВОГО ПРОСТОРУ МУФТИ, ВСТАНОВЛЕНОЇ НА ДІЮЧОМУ ТРУБОПРОВОДІ»

#### 4.1. Опис ідеї проекту

В даній магістерській дисертації розроблено стартап-проект для вдосконаленої технології для контролювання заповнення підмуфтового простору муфти, встановленої на діючому трубопроводі (табл. 4.1).

**Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту**

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Використання вдосконаленої технології для контролю заповнення підмуфтового простору муфти, встановленої на діючому трубопроводі	Застосування при контролюванні заповнення підмуфтового простору муфти, встановленої на діючих трубопроводах по всій Україні та кордоном	Пришвидшення отримання результатів контролю
		Підвищення якості отриманих результатів
		Можливість обходити попередню обробку та використання рідини, що необхідна для контролю звичайними п'єзоелектричними датчиками

В даній таблиці сформовано основну ідею проекту, напрями застосування та вигоди, які отримує споживач, а саме: пришвидшення отримання результатів контролю, підвищення якості отриманих результатів, можливість обходити попередню обробку та використання рідини, що необхідна для контролю звичайними п'єзоелектричними датчиками.

Опис сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту зазначено в таб.4.2.

**Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту**

<i>№</i>	<i>Техніко-економічні</i>	<i>(потенційні) товари/концепції конкурентів</i>	<i>W</i>	<i>N</i>	<i>S</i>
----------	---------------------------	------------------------------------------------------	----------	----------	----------

	<i>характеристики ідеї</i>	<i>Мій проект</i>	<i>НПІП КИАТОН</i>			
<b>1</b>	Економічні (вартість та підтримка, грн)	500 000	600 000		+	
<b>2</b>	Надійність	5 років	3 роки			+
<b>3</b>	Ергономічні	Зручне та просте керування.	слабкий функціонал			+
<b>4</b>	Технологічні (Частота, МГц )	3	2,5		+	
<b>5</b>	Естетичні	Не потребує	Не потребує		+	
<b>6</b>	Визнана марка(відомість)	-	-	+		
<b>7</b>	Транспортабельні (доставка)	Не потребує	Не потребує		+	
<b>8</b>	Підтримка (технічні)	+	+		+	
<b>9</b>	Економічні, (інвестування, грн)	250 000	350 000			+

де W – слабка сторона, N – нейтральна сторона, S – сильна сторона.

В даній таблиці визначено перелік слабких, сильних та нейтральних технологій. До сильних сторін технології відносяться – надійність, ергономічні показники, економічність проекту; до нейтральної сторони відносяться – вартість та підтримка проекту, технологічні, естетичні показники, транспортування та технічна підтримка технології; до слабких сторін відносяться – відсутність відомої марки.

#### 4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

Проведення аудиту технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару), наведено в таб.4.3.

**Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту**

<i>№ n/n</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
<b>1</b>	Перевірка заповнення підмуфтового	Використання ультразвукової хвилі	Наявна	Доступно

	простору муфти			
2	Пришвидшення отримання результатів контролю	Використання ЕМА-перетворювача	Наявна	Доступно
3	Підвищення точності отриманих результатів	Використання ЕМА-перетворювача	Наявна	Доступно
<b>Обрана технологія реалізації ідеї проекту:</b> Використання ультразвукової хвилі для контролю монтажу клеєзварних муфт на трубопроводах за допомогою ЕМА-перетворювача				

В даній таблиці проаналізовано технології реалізації. Також, визначено, що присутня наявність технологій та доступність технологій, тобто ніяких перешкод для виходу на ринок немає.

#### 4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку наведено в табл.4.4.

**Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту**

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	250 000 грн/шт
3	Динаміка ринку (якісна оцінка) Зростає/спадає/стагнує	стабілізується
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Обмежень не виявлено

<b>5</b>	<b><i>специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації</i></b>	ГОСТ Р 55724-2013 Контроль неразрушающий. соединения сварные. Методы ультразвуковые;  ГОСТ 23829-85. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения
<b>6</b>	<b><i>середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %</i></b>	50%

В даній таблиці визначено середню норму рентабельності в галузі, він складає 50% і перевищує банківський відсоток. Також вказані специфічні вимоги та стандарти для технології. Отже, є сенс інвестувати в цей проект гроші.

Визначення потенційних груп клієнтів, їх характеристик, та формування орієнтовного переліку вимог до товару для кожної групи наведено в табл.4.5.

***Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту***

<b><i>№ п/п</i></b>	<b><i>Потреба, що формує ринок</i></b>	<b><i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i></b>	<b><i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i></b>	<b><i>Вимоги споживачів до товару</i></b>
<b><i>1</i></b>	Діагностика монтажу клеєзварних муфт на діючих трубопроводах	Цільова група, яка займається ремонтом магістальних діючих трубопроводів, уряд країни (фінансування)	ГОСТ Р 55724-2013 Контроль неразрушающий. соединения сварные. Методы ультразвуковые;  ГОСТ 23829-85. Контроль неразрушающий акустический. Термины и определения	- програмне забезпечення - точність - справність - якість

--	--	--	--	--

В даній таблиці сформульовано ринкову потребу. Вона полягає в діагностиці монтажу клеєзварних муфт на діючих трубопроводах. Також, визначено цільову аудиторію та відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів. Вимоги споживачів до товару наступні: якісне програмне забезпечення, точність, справність, якість.

### **Аналіз ринкового середовища**

В табл.4.6 та табл.4.7. описані існуючі загрози та можливості відповідно та описані можливі реакції компанії.

**Таблиця 4.6. Фактори загроз**

<b><i>№ n/n</i></b>	<b><i>Фактор</i></b>	<b><i>Зміст загрози</i></b>	<b><i>Можлива реакція компанії</i></b>
<b><i>1</i></b>	Попит	Зниження попиту на продукцію (Зниження доходів компанії, та загроза розорення)	Вдосконалення існуючого продукту, зниження ціни, підвищити рекламні заходи
<b><i>2</i></b>	Науково-технічний	Припинення удосконалення технології	Підтримувати належний інноваційний стан технології
<b><i>3</i></b>	Інформаційне забезпечення	Використання неякісного забезпечення	Забезпечення якісної та зрозумілої інструкції споживачам
<b><i>4</i></b>	Динаміка галузі	спад динаміки галузі	Моніторинг необхідної галузі ринку

<b>5</b>	<b>Конкуренція</b>	<b>Вихід на ринок конкурентоспроможних компаній</b>	<b>Підтримувати співвідношення ціна-якість</b>
----------	--------------------	-----------------------------------------------------	------------------------------------------------

В даній таблиці сформульовано зміст потенційних загроз, таких як: зниження попиту на продукцію, припинення удосконалення технології, використання неякісного забезпечення, спад динаміки галузі, вихід на ринок конкурентоспроможних компаній. Також, наведено можливу реакцію компанії.

**Таблиця 4.7. Фактори можливостей**

<b>№ n/n</b>	<b>Фактор</b>	<b>Зміст можливості</b>	<b>Можлива реакція компанії</b>
<b>1</b>	Попит	Замовлення на проведення контролю	Розширення виробництва
<b>2</b>	Науково-технічний	Використання технології, в якій використовується ЕМА-перетворювач, замість п'єзоелектричного	Підвищення кваліфікації працівників
<b>3</b>	Інформаційне забезпечення	Використання найсучаснішого програмного забезпечення	Підвищення кваліфікації працівників
<b>4</b>	Динаміка галузі	Зростання динаміки в галузі	Доступна ціна та якісна продукція
<b>5</b>	Конкуренція	Залучення нових клієнтів	Доступна ціна та якісна продукція

В даній таблиці сформульовано зміст можливостей, а саме: замовлення на проведення контролю, використання технології, в якій використовується ЕМА-перетворювач, замість п'єзоелектричного, використання найсучаснішого програмного забезпечення, зростання динаміки в галузі, залучення нових клієнтів. Також, наведено можливу реакцію компанії.

## Аналіз пропозиції

В таб.4.8. визначаються загальні риси конкуренції на ринку, в чому вона проявляється та її вплив на діяльність.

**Таблиця 4.8. ступеневий аналіз конкуренції на ринку**

<b>Особливості конкурентного середовища</b>	<b>В чому проявляється дана характеристика</b>	<b>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</b>
<b>1. Тип конкуренції - олігополія</b>	олігополія характеризується невеликою кількістю фірм (від 2 до 10), обгороджених бар'єрами, які перешкоджають вступу в галузь нових фірм, мають контроль над цінами, але при змові з іншими олігополістами	Головною рисою є те, що кількість фірм така мала відносно розмірів ринку, що кожна з фірм визнає тісний зв'язок одна з одною
<b>2. За рівнем конкурентної боротьби - глобальний</b>	Вихід на ринок за межами країни виробника	Збільшення клієнтури та попиту
<b>3. За галузевою ознакою - внутрішньогалузева</b>	Товар націлений суто на контроль монтажу муфт на трубопроводі і не підходить для інших цілей	Звуження конкуренції
<b>4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова</b>	Конкуренція між товарами одного виду	Покращення методу контролю, на який націлена фірма
<b>5. За характером конкурентних переваг - нецінова</b>	Прагнення захоплення частини даного ринку	Введення інновацій, патентування, покращення якості
<b>6. За інтенсивністю - не марочна</b>	Роль торгової марки	Не впливає

В даній таблиці вибрано тип конкуренції - олігополію, рівень конкурентної боротьби - глобальний, галузеву ознаку - внутрішньогалузеву, конкуренцію за видами товарів - товарно-видову, характер конкурентних переваг - нецінову, та

інтенсивність пропонованої технології - не марочну.

### Детальний аналіз конкуренції в галузі

В таб.4.9. проводиться аналіз конкуренції в галузі за М. Портером, визначаються прямі та потенційні конкуренти, а, також, постачальники, клієнти та товарозамінники.

**Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером**

<b>складові аналізу</b>	<b>Прямі конкуренти в галузі</b>	<b>Потенційні конкуренти</b>	<b>Постачальники</b>	<b>Клієнти</b>	<b>Товари-замінники</b>
	Фірми, які націлені на контроль трубопроводів (ТОВ «НПІП КИАТОН» )	Поява нових фірм, що націлені на контроль трубопроводів (ТОВ «сМУ №24» )	Постачальник и складальних одиниць для датчиків (ТОВ «Промтехнології»)	Цільова група, яка займається ремонтом магістральних діючих трубопроводів, уряд країни (фінансування) (ТОВ «Ravetti UA»)	Технологія з використанням п'єзоелектричних датчиків
<b>Висновки:</b>	Конкуренція незначна, оскільки фірма ТОВ «НПІП КИАТОН» заключається в перевірці муфти на герметичність, і перевіряють муфти тільки з заповненн	Можливість виходу на ринок в досить незначні строки – 6 місяців - на ринку України незначна конкуренція в цій галузі	Постачальник и не диктують умови роботи на ринку	Клієнти диктують умови роботи на ринку	Існують, але мають незначний вплив на виробництво



	ям поліуретан ом.				
--	-------------------------	--	--	--	--

Можна зробити висновок, що конкуренції для даної технології на українському ринку немає. Тому, вихід на ринок даної технології значно спрощується. Ця технологія легка в застосуванні, не потребує дуже великих вкладень та необмежена в використанні. Всі ці якості роблять запропоновану технологію успішною.

### **Визначання та обґрунтування переліку факторів конкурентоспроможності**

Фактори конкурентоспроможності та їх обґрунтування зазначені в табл.4.10.

***Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності***

<b><i>№ п/п</i></b>	<b><i>Фактор конкурентоспроможності</i></b>	<b><i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i></b>
<b><i>1</i></b>	Попит	Зниження ціни на технологію та підвищення якості
<b><i>2</i></b>	Науково-технічний	Впровадження інновацій
<b><i>3</i></b>	Інформаційне забезпечення	Необхідна велика база даних, патентів та винаходів
<b><i>4</i></b>	Динаміка галузі	Розвиток галузі та виробництва, визначає попит на продукцію
<b><i>5</i></b>	Конкуренція	Витрати на запчастини та складові компоненти, їх якість, використання якісного інформаційного забезпечення

В даній таблиці описано фактори конкурентоспроможності та їх обґрунтування. Вибрані такі фактори конкурентоспроможності: попит, науково-технічний, інформаційне забезпечення, динаміка галузі, конкуренція.

### **Аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту**

Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Вдосконаленої технології

для контролювання заповнення підмуфтового простору муфти, встановленої на діючому трубопроводі» наведено в таб.4.11.

**Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту**

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бал и 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у по- рівнянні з фірмою виготовлення датчиків контролю CJSC «Couplings»						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Попит	12				+			
2	Науково-технічний	10				+			
3	Інформаційне забезпечення	12				+			
4	Динаміка галузі	9			-				
5	Конкуренція	17						+	

В даній таблиці проілюстровано рейтинг товарів-конкурентів відносно факторів конкурентоспроможності. Можна зробити висновок, що конкуренція в даній області незначна.

складання SWOT-аналізу, який наведений в таб.4.12.

**Таблиця 4.12. SWOT-аналіз стартап-проекту**

<b>сильні сторони:</b> збільшення доходів потенційних споживачів, низька ціна на технологію, велика кількість високоосвічених працівників, надійність, ергономічність,	<b>слабкі сторони:</b> мала кількість постачальників запчастин, ліцензії та сертифікати, відсутність відомої марки
<b>Можливості:</b> зробити акцент на низьку ціну та якість продукції, удосконалення обладнання, збільшення клієнтів через великий попит	<b>Загрози:</b> поява нових конкурентів на українському ринку, загроза втратити найбільших постачальників

В даній таблиці описано сильні та слабкі сторони стартап-проекту. Визначено такі можливості для розроблюваного стартап-проекту: зробити

акцент на низьку ціну та якість продукції, удосконалення обладнання, збільшення клієнтів через великий попит.

### **Розроблення альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів)**

Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки, ймовірність отримання ресурсів та строки їх реалізації наведено в таб.4.13.

**Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту**

<b>№ n/n</b>	<b>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</b>	<b>Ймовірність отримання ресурсів</b>	<b>строки реалізації</b>
<b>1</b>	Динамічна(Освоєння нових ринків, зростання масштабів виробництва розроблення та впровадження інновацій, розвиток потенціалу для реалізації стратегічних цілей розвитку)	Збільшення постачальників, удосконалення ресурсів, найм високоосвіченого робочий персонал	6 місяців
<b>2</b>	Нестійкий (Раціоналізація асортименту продукції, утримання частки ринку, лідерство в ніші)	Результат рекламної кампанії	1 рік
<b>3</b>	стабільний(Утримання конкурентного положення, утримання ринкової ніші, зростання частки ринку з нарощенням виробництва, акумуляція прибутку)	Отримання у перевірних постачальників, високоосвічений робочий персонал	6 місяців

Під час аналізу було обрано такі альтернативи (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки – динамічна (більш стислі строки реалізації), нестійка (отримання ресурсів є більш простим та ймовірним), стабільний (більш стислі строки реалізації).

#### 4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

Опис цільових груп потенційних споживачів, який наведено у табл.4.14

**Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів**

<b>№ п/ п</b>	<b>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</b>	<b>Готовність споживачів сприйняти продукт</b>	<b>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</b>	<b>Інтенсивність конкуренції в сегменті</b>	<b>Простота входу у сегмент</b>
<b>1</b>	Цільова група, яка займається ремонтом магістральних діючих трубопроводів, уряд країни (фінансування)	Висока(через відсутність менш дорогих аналогів)	Високий	Низький	Просто
<b>Які цільові групи обрано:</b> стратегію концентрованого маркетингу					

В даній таблиці описано профіль цільової групи потенційних клієнтів, готовність споживачів сприйняти продукт, високий орієнтовний попит в межах цільової групи, низька інтенсивність конкуренції в сегменті, простота входу у сегмент.

#### Формування базової стратегії розвитку

стратегія охоплення ринку, ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи та базова стратегія розвитку наведені у таб.4.15.

**Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку**

<i>№ n/n</i>	<i>Обрана альтерна- тива розвитку проекту</i>	<i>стратегія охоп- лення ринку</i>	<i>Ключові конкуренто- спроможні позиції від- повідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку*</i>
1	стабільна	стратегія припускає, що за рахунок великих можливостей по об'ємах збуту товарів (портфеля укладених контрактів на постачання) і продуктивності підприємство може добитися менших витрат	фірма здатна протистояти своїм прямим конкурентам навіть у разі цінової війни і в змозі отримувати прибуток при ціні, мінімально допустимій для конкурентів; низькі витрати створюють бар'єр входу для нових конкурентів і одночасно хороший захист проти товарів-замінників.	стратегія диференціації

В даній таблиці обрана стабільна альтернатива розвитку проекту, стратегія припускає, що за рахунок великих можливостей по об'ємах збуту товарів, ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи, базову стратегію розвитку.

Вибір стратегії конкурентної поведінки проводиться в табл.4.16

**Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки**

<i>№ n/n</i>	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурен- та, і які?</i>	<i>стратегія конку- рентної поведінки*</i>

		<i>конкурентів ?</i>		
<b>1</b>	Проект не є першопрохідцем, але не в поширений в нашій країні. Досить широке використання в Європі та Росії	Компанія буде шукати нових споживачів, та забирати існуючих у конкурентів	Компанія буде позичати характеристики західних аналогів, але при цьому використовувати вдосконаленої з використанням ЕМА-перетворювача замість п'єзоелектричного	стратегія наслідування лідеру

В даній таблиці описано, що проект не є першопрохідцем на даному ринку, компанія буде шукати нових споживачів, позичати характеристики у західних аналогів, було обрано стратегію наслідування лідеру.

### **Розробка стратегії позиціонування**

Вимоги до товару цільової аудиторії, базова стратегія розвитку, ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту та вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту наведено у табл.4.17.

**Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування**

<b>№ п/п</b>	<b>Вимоги до товару цільової аудиторії</b>	<b>Базова стратегія розвитку</b>	<b>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</b>	<b>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)</b>

<b>1</b>	Проведення якісного контролю монтажу клеєзварних муфт на діючому трубопроводу	Позиціонування за співвідношенням ціна-якість	Якість контролю монтажу клеєзварних муфт буде відповідати західним аналогам, але вдосконалення повинні підвищити маржу	«відмінне дослідження при малих витратах», «європейська якість за нижчими цінами»,
----------	-------------------------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

Результатом виконання підрозділу стала узгоджена система рішень щодо ринкової поведінки, яка визначає напрями роботи стартап-компанії на ринку.

#### **4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту**

##### **Формування маркетингової концепції товару**

Формулювання потреби, вигоди та наведення ключових переваг перед конкурентами проводиться в табл.4.18.

**Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару**

<b>№ n/n</b>	<b>Потреба</b>	<b>Вигода, яку пропонує товар</b>	<b>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</b>
<b>1</b>	Проведення якісного контролю монтажу клеєзварних муфт на діючих трубопроводах по всій Україні	спрощення процесу контролю монтажу клеєзварних муфт на діючих трубопроводах за допомогою ультра звукових хвиль, зменшення часу отримання результатів контролю,	Використання технологію з застосуванням ультразвукової хвилі для контролю заповнення підмуфтового шару муфти, що забезпечить більш точний контроль з'єднання муфти

		підвищена точність, доступна ціна	та труби
--	--	-----------------------------------------	----------

В даній таблиці було сформульовано потребу у проведенні якісного контролю монтажу клеєзварних муфт на діючих трубопроводах по всій Україні, вигоду спрощення процесу контролю монтажу клеєзварних муфт на діючих трубопроводах за допомогою ультразвукових хвиль, зменшення часу отримання результатів контролю, підвищена точність, доступна ціна, та ключові її переваги.

Розробка трирівневої маркетингової моделі товару наведена в табл.4.19

**Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару**

<b><i>Рівні товару</i></b>	<b><i>сутність та складові</i></b>		
<b><i>I. Товар за задумом</i></b>	Підвищення якості проведення контролю монтажу клеєзварних муфт на діючих магістральних трубопроводах, зменшення часу на отримання результатів проведення контролю, доступна ціна		
<b><i>II. Товар у реальному виконанні</i></b>	<b><i>Властивості/характеристики</i></b>	<b><i>М/Нм</i></b>	<b><i>Вр/Тх /Тл/Е/Ор/Па</i></b>
	1. Частота, МГц		3
	2. Напруга мережі		220
	3. Міжканальна ізоляція, дБ		72
	4. Регулювання зміщення фази, біт		14
	5. Масштабування амплітуди, біт		10
	Пакування: Оскільки у нас представлена технологія, тому пакування не передбачене		
	Марка: фірма виготовлення датчиків контролю CJSC«Couplings», Вдосконалена технологія контролю монтажу муфт на діючих трубопроводах		



<b><i>III. Товар із підкріпленням</i></b>	Інформацію щодо якості продукту споживач може отримати з інформаційних сайтів, реклами та відгуків
<b><i>За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання:</i></b> Патентування технології, ліцензування	

В даній таблиці було розроблено трирівневу маркетингову модель товару та зазначено, що потенційний товар буде захищено від копіювання патентуванням технології, ліцензуванням.

### **Визначення цінових меж**

Визначення цінових меж наведено у табл.4.20. Аналіз проводиться експертним методом.

***Таблиця 4.20. Визначення меж встановлення ціни***

<b><i>№ п/п</i></b>	<b><i>Рівень цін на товари-замінники</i></b>	<b><i>Рівень цін на товари-аналоги</i></b>	<b><i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i></b>	<b><i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i></b>
<b><i>1</i></b>	600 000 грн	650 000 грн	середній/високий	750 000 грн

В даній таблиці було визначено межі встановлення цін. Рівень доходів цільової групи споживачів - середній/високий.

Визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення проводиться в табл.4.21.

***Таблиця 4.21. Формування системи збуту***

<b><i>№ п/п</i></b>	<b><i>специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i></b>	<b><i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i></b>	<b><i>Глибина каналу збуту</i></b>	<b><i>Оптимальна система збуту</i></b>

<b>I</b>	Ознайомлення з інструкцією по користуванню технологією	Вчасне забезпечення доступу до технології	Інформаційний канал, транспортування не потребує	Власні сили
----------	--------------------------------------------------------	-------------------------------------------	--------------------------------------------------	-------------

В даній таблиці описано специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів (необхідність ознайомлення з інструкцією по користуванню технологією), функції збуту (вчасне забезпечення доступу до технології), які має виконувати постачальник товару (інформаційний канал, транспортування не потребує), глибину каналу збуту та оптимальну систему збуту (власні сили).

Розроблення концепції маркетингових комунікацій проводиться у табл.4.22

**Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій**

<b>№ п/ п</b>	<b>специфіка поведінки цільових клієнтів</b>	<b>Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти</b>	<b>Ключові позиції, обрані для позиціонування</b>	<b>Завдання рекламного повідомлення</b>	<b>Концепція рекламного звернення</b>
	Ознайомлення з специфікою технології на сайті, оцінка ефективності технології	спілкування, засоби масової інформації	співвідношення «ціна-якість»	Проінформувати цільову аудиторію про технологію, за доступною ціною	«європейська якість за нижчими цінами»

Результатом пункту є ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

#### **Висновки за розділом 4**

В даній магістерській дисертації розроблено стартап-проект для вдосконаленої технології для контролювання заповнення підмуфтового простору муфти, встановленої на діючому трубопроводі. Ця технологія полягає в перевірці суцільності заповнення підмуфтового простору муфти British Gaz, яка встановлюється на діючих магістральних трубопроводах під час їх ремонту (наприклад, при виникненні іржі на поверхні трубопроводу). Контроль відбувається за допомогою пропускання ультразвукової хвилі через розплавлений матеріал, яким заповнено підмуфтовий простір. Далі ця хвиля приймається ЕМА перетворювачем, та отриманий результат фіксується на екрані дефектоскопа. Під час проведення аналізу було визначено, що є гарна можливість комерціалізації даного проекту на ринку України.

Цільова група клієнтів досить вузька, але дана технологія націлена на людей, які займаються ремонтом магістральних діючих трубопроводів та уряд країни, оскільки саме він займається фінансуванням ремонту магістральних трубопроводів. Бар'єрів входження на ринок майже не має, конкуренції в даній сфері також майже немає, тому складності просування та успіху проекту не виявлено. Технологія, якою користуються конкуренти в даній галузі полягає в перевірці муфти на герметичність, і муфти з заповненням лише поліуретаном. А технологія, що представлена в даному стартап-проекті, перевіряє підмуфтовий простір, що заповнений сталлю та незалежно від температури заповнюваної речовини.

Також, було обрано альтернативи впровадження для ринкової реалізації проекту:

Динамічну (Освоєння нових ринків, зростання масштабів виробництва розроблення та впровадження інновацій, розвиток потенціалу для реалізації стратегічних цілей розвитку);

Нестійку (Раціоналізація асортименту продукції, утримання частки ринку, лідерство в ніші);

стабільну (Утримання конкурентного положення, утримання ринкової

ніші, зростання частки ринку з нарощенням виробництва, акумуляція прибутку).

Було визначено основні загрози та можливості даного стартап-проекту. Було визначено систему збуту, але, оскільки, стартап-проект базується на вдосконаленні технології, то потреби в ній не має.

До сильних сторін відносяться: збільшення доходів потенційних споживачів, низька ціна на технологію, велика кількість високоосвічених працівників, надійність, ергономічність. До слабких сторін відноситься мала кількість постачальників запчастин. Але оскільки ця галузь України поступово поновлюється, тому можна припустити, що в найближчому майбутньому, ця проблема не буде виникати.

## **ВИСНОВКИ**

1. Під час написання даної магістерської дисертації було запропоновано спосіб заповнення підмуфтового простору муфт British Gaz, при контролюванні яких датчики контролю встановлюються на центруючі болти.

2. Розглянута можливість використання методу контролю, що базується на використанні ультразвукової хвилі для контролю якості заповнення підмуфтового простору муфти самотвердіючою речовиною. Також, розглянута можливість заповнення підмуфтового простору і компаундом, і розплавленим металом під час контролю монтажних робіт на магістральних трубопроводах.

3. Було експериментально досліджено можливості використовуючи ЕМА-товщинометрію контролювати заповнення підмуфтового простору муфти розплавленим металом. Для цих цілей розроблений і виготовлений діючий макет ЕМА перетворювача.

4. Було експериментально підтверджено, що для контролю якості формування підмуфтового простору, ефективно застосовувати ЕМА-товщинометрію.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Cole P. The generation and reception of ultrasonic surface waves in mild steel, at high temperatures // Ultrasonic. 1978. № 4 (16) P. 151 — 155.
2. Luo Yang, «Development of NdFeB c Magnet Industry in new century», Proc. of the 19th Int. Workshop on REPM&their appl. Beijing, China ,2006, P-1
3. Otegui J.L.. Local collapse of gas pipelines under repairs. / Otegui J.L., Urquiza S., Rivas A., Trunzo A. // Int. J. Pressure Vessels and Piping. 2000. 77. P. 555-566.

4. Serhiienko K. Technology of ultrasonic control of filling of under coupling space of coupling on main pipeline/ Serhiienko K., Podolian O.// NTUU "Igor Sikorsky KPI" - 2018
5. Tymchyk H. Theoretical investigations of the generation of an ultrasonic wave by an electromagnetic acoustic transducer/ Tymchyk H., Podolian O., Serhiienko K.// KPI Science News №.3 – Kyiv: NTUU «Igor Sikorsky KPI», 2018 p.
6. Pat. GB 2210134 United Kingdom, UK CL (Edition J) F16L55/18 Method of repairing a pipe / William Pallan ; date of filing 21.09.1987 ; date of A publication 01.06.1989
7. Wallace. W.D. Electromagnetic generation of ultrasound in metals // Int. Non Destr. Test. 1971. № 2. P. 309 – 334.
8. Whittington K.R. Ultrasonic testing at hight temperatures // Phys. Techn. 1978. N 2. P. 62-67.
9. Беккер М.В. Ремонт магистральных трубопроводів під тиском / Беккер М.В., Бут В.С., Говдяк Р.М. и др. - К.: Кий, 2008. – 240 с.
10. Берталанфи Л. фон. История и статус общей теории систем/ Берталанфи Л. фон.// системные исследования. — М.: Наука, 1973.
11. Бечаева М.К. Электротехника и электроника: Учеб.пособие/ М.К.Бечаева и др. — М.: Высш.шк., 1991. — стр.22.
12. Бровкина Н.Д. Контроль и ревизия: учеб. пособие./ Бровкина Н. Д. — Москва: ИНФРА-М, 2007. — с. 5-10. — 346 с.
13. Волкова В. Н.Теория систем: учебное пособие./ Волкова В. Н., Денисов А. А. — М.: Высшая школа, 2006. — 511 с. — ISBN 5-06-005550-7
14. ГБН В.3.1-00013741-12:2011. Магістральні газопроводи, ремонт дуговим зварюванням в умовах експлуатації: - К.: Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2011. – 152 с.
15. Глухов Н.А. О направленности электромагнитного акустического датчика сдвиговых колебаний / Глухов Н.А. // Дефектоскопия. - 1971, вып. №1 - с.13-19.

16. Глухов Н.А. Электромагнитно-акустические преобразователи для упругих волноводов./ Глухов Н.А., Бобров В.Т., Веремenco с.В. и др. // Дефектоскопия. - 1972, вып. №4 - с. 38-45.
17. Глухов Н.А. Электромагнитно-акустические преобразователи для упругих волноводов/ Бобров В.Т., Веремenco с.В., Дружаев Ю.А., Колмогоров В.Н., Лебедева Н.А.// Дефектоскопия, №4 - 1972 - с. 39-45.
18. ГОСТ 7512-82. Контроль неразрушающий. соединения сварные. Радиографический метод. М.: Изд-во стандартов. - 31с.
19. ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. соединения сварные. Методы ультразвуковые. М.: Изд-во стандартов. 39с.
20. Гурвич А.К. Ультразвуковой контроль сварных швов./ Гурвич А.К., Ермолов И.Н. – К.:Техніка, 1972, - 460 с.
21. Давидюк Л.П. Способ ультразвукового контроля изделий / Давидюк Л.П., Сергиенко К.С., Подолян А.А.// «Новые направления развития приборостроения» - Мінськ: БНТУ – 2018р.
22. Ейчина В.Г. Влияние магнитного поля на затухание ультразвуковых колебаний./ Ейчина В.Г., Кеслер Н.А. //Дефектоскопия. - 1972, вып. №3 - с. 53 - 58.
23. Ильин И.В., К теории ЭМА метода приема волн Релея для ферро- и ферромагнитных материалов Ильин И.В., Харитонов В. К. — стр. 86-93.
24. Корилов А.М., Теория систем и системный анализ: учеб. пособие. / Корилов А.М., Павлов С.Н. — Томск: Томс. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2008. — 264 с. — ISBN 978-5-86889-478-7
25. Крауткремер Й. Ультразвуковой контроль материалов/ Крауткремер Й., Крауткремер Г. : справочник.; Пер. с нем. — М.: Металлургия, 1991. - 752 с.
26. Малинка А. В. Возбуждение и регистрация ультразвуковых колебаний ЕМА методом. / Малинка А. В., Неволин О. В., Пачковский Л. с.// Неразрушающие физические методы и средства контроля. - Кишинев: ВНИИНК, 1977, д. 01/113. с. 421—424.

27. Малинка А.В. Электромагнитно-акустический метод контроля ферромагнитных листов и труб./ Малинка А.В., Драпкин И.А., Коломоец Н.Т. // Дефектоскопия. - 1972, вып. №4 - с. 44 -48.
28. Малолетко А. Н. Контроль и ревизия: учеб. пособие. / Малолетко А. Н. — Москва: КНОРУс, 2006. — с. 9—26. — 312 с.
29. Мельник М.В. Ревизия и контроль / М.В. Мельник, А.с. Пантелеев, А.П. Звездин // под ред. проф. М.В. Мельник. – М.: КНОРУс, 2007. – 640 с.
30. Месарович М. Общая теория систем: математические основы./ Месарович М., Такахара И. — М.: Мир, 1978. — 311 с.
31. Мищенко А.с., Тишин А.М. «Перспективные материалы для постоянных магнитов», [http://www.ndfeb.ru/articles/perm mag.htm](http://www.ndfeb.ru/articles/perm%20mag.htm)
32. Неразрушающий контроль и диагностика: справочник/ В.В. Клюев, Ф.Р. соснин, А.В. Ковалев и др; Под ред. В. В. Клюева М. 3-е изд. испрт. и доп. : Машиностроение, 2005.- 656 с.
33. Николаева Е.В. ФОПИ: Измерительные преобразователи. Принципы измерения физических величин: учеб. пособие/ Е.В. Николаева, В.В. Макаров. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007.- 96 с.
34. Пат. на винахід 82038 Україна, МПК (2006) F16L 55/00, G01M 3/00. спосіб муфтового ремонту дефектної ділянки діючого трубопроводу з контролем якості монтажу / Бут В.с., Мандра А.с., Подолян О.О. та ін.. ; заявл. 27.11.2007 ; опубл. 25.02.2008, бюл. №4
35. Пат. на винахід 82723 Україна, МПК (2006) G01N 29/04. ЕМА перетворювач / Подолян О.О. ; заявл. 27.04.2006 ; опубл. 12.05.2008, бюл. №8
36. Пат. на винахід 83295 Україна, МПК (2006) G01N 29/04. спосіб формування акустичної хвилі / Подолян О.О. ; заявл.20.10.2006 ; опубл. 25.06.2008, бюл.№12
37. Пат. на винахід 89290 Україна, МПК (2006) G01N 29/04, H03K 4/00. спосіб формування дзвіноподібних імпульсів зондування для ЕМА перетворювача та пристрій для його здійснення / Подолян О.О., Протасов А.Г., Лігоміна с.М. ; заявл. 28.12.2009 ; опубл. 25.06.2010, бюл. №12



38. Пат. на изобретение 2327152 Российская Федерация, МПК (2006) G01N 29/04. ЭМА преобразователь / Подолян А.А. ; заявл. 18.05.2006 ; опубл. 20.06.2008, бюл. №17

39. Пат. на изобретение 2339030 Российская Федерация, МПК (2006) G01N 29/04. способ формирования акустической волны / Подолян А.А. ; заявл. 22.02.2007 ; опубл. 20.11.2008, бюл. №32

40. Пат. на изобретение 2373638 Российская Федерация, МПК (2006) H03K 4/92 . способ формирования колоколообразных импульсов зондирования для ЭМА преобразователя и устройство для его осуществления / Подолян А.А., Протасов А.Г., Лигомина с.Н. ; заявл. 28.05.2008 ; опубл. 20.11.2009, бюл. №32

41. Пат. на корисну модель 17947 Україна, МПК (2006) G01N 29/04. ЕМА перетворювач / Подолян О.О. ; заявл. 27.04.2006 ; опубл. 16.10.2006, бюл. №10

42. Пат. на корисну модель 61358 Україна, МПК (2006) F16L 55/175. спосіб ремонту діючого трубопроводу з контролем якості робіт / Подолян О.О. Пудрий с.В., Томашук О.І. ; заявл. 13.05.2011 ; опубл. 11.07.2011, бюл. №13

43. Пат.-заявка на корисну модель u2018 04405 Україна. Електромагнітно-акустичний перетворювач для контролю квадратних профільних труб / Подолян О.О., Сергиенко Е.С.

44. Пат.-заявка на корисну модель u2018 04406 Україна. Електромагнітно-акустичний перетворювач для контролю о`б'єктів циліндричної форми/ Подолян О.О., Сергиенко Е.С.

45. Пат.-заявка на корисну модель u2018 04407 Україна. Електромагнітно-акустичний перетворювач для контролю о`б'єктів квадратної форми / Подолян О.О., Сергиенко Е.С.

46. Пат.-заявка на корисну модель u2018 04408 Україна. Електромагнітно-акустичний перетворювач для контролю труб/ Подолян О.О., Сергиенко Е.С.

47. Пат. на полезную модель 58714 Российская Федерация, МПК (2006) G01N 29/04. ЭМА преобразователь / Подолян А.А. ; заявл. 18.05.2006 ; опубл. 27.11.2006, бюл. №33

48. Подолян А.А. Комплексный неразрушающий контроль качества ремонта действующего трубопровода : зб. тез доповідей за матеріалами першої студентської науково-технічної конференції „Приладобудування: стан і перспективи”. м.Київ, 22-23 квітня 2008р. / Подолян А.А. – Київ : Вид-во НТУУ „КПІ”, 2008. – с.88-89

49. Подолян А.А. Особенности формирования зондирующих импульсов в ЭМА преобразователях : матеріали І-ой студентської науково-практичної конференції „Неруйнівний контроль у промисловості і медицині”. м.Київ, 18 квітня 2007р / Подолян А.А. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – Киев : Ред. ИСс им. Е.О.Патона, 2007. - № 2. – с.60

50. Подолян А.А. Формирование магнитного поля с заданными характеристиками в ЭМА преобразователях систем неразрушающего контроля промышленного оборудования / Подолян О.О. // Методи та прилади контролю якості. - Івано-Франківськ : Вид-во Ів.-Франковського нац..техн. ун-ту нафти і газу, 2006, вип. 17. – с.18-21

51. Подолян А.А. Экспериментальные исследования формирования акустической волны электромагнитно-акустическим преобразователем / А.А. Подолян, В.Ю.Тесленко// Вісник національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” серія приладобудування. – Київ : Вид-во НТУУ “КПІ”, 2015 – Вип. 50 – с.61-68.

52. Подолян А.А. Система контроля качества монтажа муфты с внутренним заполнением на действующем трубопроводе : дисс. на соискание учён. степени канд. техн. наук. : 05.11.13 - приборы и методы контроля и определения составов веществ / А. А. Подолян. - К., 2013. - 231 с.

53. Проведення натурних випробувань ефективності клеєзварних муфт на трубопроводі : звіт про НДР / ІЕЗ ім..Е.О.Патона ; керівник роботи В.с.Бут ;

автори В.с.Бут, с.В.Пудрий, О.О.Подольн ті ін.; Держ. реєстр. №0112 U003232.  
– Київ, 2012. - 48 с.

54. Реклама British Gas p/c Ripley Road, Ambergate, Derbyshire, DE 562 FZ

55. Реутов Ю.Я. О возможностях использования программы. ELCUT в расчётах по дефектоскопии/ Реутов Ю.Я., Гобов Ю.Л., Лоскутов В.Е. // Дефектоскопия. - 2002, №6, с. 59-71.

56. Сазонов Ю.И. Исследование бесконтактных методов возбуждения и регистрации ультразвуковых колебаний: Ультразвуковые методы контроля./Ю.И. сазонов , Ю.М. Шкарлет // Дефектоскопия. - 1969, вып. №5 - с. 6.

57. Сувала А.В. Устройство для ультразвукового контроля изделий, которые имеют сложную форму тел вращения / Сувала А.В., Сергиенко К.С., Подольн А.А.// «Новые направления развития приборостроения» - Мінськ: БНТУ – 2018р.

58. Сергиенко К.С. Технология ультразвукового контроля заполнения подмуфтового пространства паяно-сварных муфт магистральных трубопроводов/ Сергиенко К.С., Подольн А.А.// «Новые направления развития приборостроения» - Мінськ: БНТУ – 2018р.

59. Технологічна інструкція з ремонту магістральних газопроводів під тиском з застосуванням дугового зварювання: - К.: ДК «Укртрансгаз», 2000. – 96 с.

60. Технологическая инструкция. Муфты ремонтные. Герметизация подмуфтового пространства полиуретановым составом. Введ. 15.03.2006 – Утв. Первым заместителем председателя совета директоров ДК Укртрансгаз НАК Нафтогаз Украины В.Н. Нолемеевым 15.03.2006 – 14 с.

61. Тымчик Г.С. Анализ возможности использования магнитного метода неразрушающего контроля при муфтовом ремонте магистральных газопроводов : зб. тез доповідей за матеріалами X-ої міжнародної науково-технічної конференції “Приладобудування 2011: стан і перспектививи”. м.Київ,

19-20 квітня 2011р. / Тымчик Г.с., Подолян А.А. – Київ : Вид-во НТУУ „КПІ”, 2011. - с.187-188

62. Тымчик Г.С. Анализ электромагнитно-акустического преобразователя с угловым вводом возбуждения ультразвуковой волны / Г.с. Тымчик, А.А. Подолян // Вісник національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” серія приладобудування. – Київ: Вид-во НТУУ “КПІ”, 2014 – Вип. 47 – с.85-94.

63. Тымчик Г.с. Использование ультразвукового метода неразрушающего контроля при муфтовом ремонте магистральных трубопроводов : сб. тезисов докладов по материалам по материалам 4-ой международной студенческой научно-технической конференций “Новые направления развития приборостроения”.. г..Минск, 20-22 апреля 2011г. / Тымчик Г.с., Подолян А.А. – Минск : Ред. Белорусского нац. техн. ун-та, 2011, Т.1 – с.65

64. Тымчик Г.С. Формирование импульсов специальной формы для электромагнитных акустических преобразователей / Тымчик Г.с. Подолян А.А. // Вісник національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут” серія приладобудування. – Київ : Вид-во НТУУ “КПІ”, 2013, вип. 45 – с.64-69.

65. Уёмов А. И. системный подход и общая теория систем. — М.: Мысль, 1978. — 272 с.

66. Хубка В. Теория технических систем./ Хубка В. - М. Мир, 1987. - 202с.

67. Хусанов М.Х. Магнитографический контроль сварных швов./ Хусанов М.Х. – М.:Недра, 1973. – 216 с.

68. Шубаев с.Н. Электромагнитно-акустическое преобразование в плоской металлической пластине / с.Н. Шубаев // Дефектоскопия. - 1975, вып. №6 - с. 32-43.

69. Шульгин В.А. Эффект связанности электромагнитных и упругих волн при электромагнитно-акустическом возбуждении радиальных колебаний в

металлических стержнях/ Шульгин В.А., Кулеев В.Г. // Дефектоскопия. - 1982, № 7 - с.29-40.

70. Щербинский В.Г. Ультразвуковой контроль сварных соединений./ Щербинский В.Г., Алешин Н.П. — 3-е изд., перераб. и доп. -М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. 496 с.

71. Яворский Б. М. справочник по физике. Для инженеров и студентов вузов./ Б.М. Яворский, А.А. Детлаф – М.:Наука, 1978 – 944 с.